

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Телекомунікацій**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ Сергій Кравчук
(підпис)

“ ” _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інженерія та програмування
інфокомунікацій»
зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Застосування мережі бездротових сенсорів в межах концепції
«розумного міста»»**

Виконав:

студент II курсу, групи ТЗ-з11мп
Карпачова Марина Миколаївна _____

Керівник:

Доцент кафедри ТК НН ІТС, к.т.н., доцент
Явіся В.С. _____

Рецензент:

Доцент кафедри ІКТС, к.т.н., доцент
Правило В.В. _____

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

Студент _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інженерія та програмування інфокомунікацій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Карпачовій Марині Миколаївні

1. Тема дисертації «Застосування мережі бездротових сенсорів в межах концепції “розумного міста”», науковий керівник дисертації Явіся Валерій Сергійович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «28» жовтня 2022 р. № 3994-с.
2. Термін подання студентом дисертації 10.12.2022 р.
3. Об’єкт дослідження; розумне місто.
4. Предмет дослідження: технології безпроводових сенсорних мереж в умовах концепції “розумного міста”.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати актуальні стандарти для реалізації БСМ; проаналізувати особливості топології мереж безпроводових сенсорів; проаналізувати параметри мережі.
6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: характеристика роботи, загальні характеристики стандартів БСМ, маршрутизація БСМ, застосування мереж в розумних містах.
8. Дата видачі завдання “ 01 ” вересня 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Написання першого розділу	01.09.-10.11.2021р.	виконано
2	Написання другого розділу	12.11.-29.12.2021р.	виконано
3	Написання третього розділу	01.09.-10.10.2022р.	виконано
4	Написання четвертого розділу	10.10.-30.11.2022р.	виконано
5	Написання п'ятого розділу	01.12.-12.12.2022р.	виконано
6	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	15.12.-20.12.2022р.	виконано

Студент

Марина КАРПАЧОВА

Науковий керівник дисертації

Валерій ЯВІСЯ

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 85 ст., 18 рис., 23 табл., 18 джерел.

БЕЗПРОВОДОВА СЕНСОРНА МЕРЕЖА, WSN, ZIGBEE, СЕНСОРИ,
«РОЗУМНЕ МІСТО», ТОПОЛОГІЯ, MESH, AODV, МАРШРУТИЗАЦІЯ

Актуальність роботи: Бездротові сенсорні мережі є ключовою технологією для отримання інформації про довкілля. Міська модернізація є домінуючою рушійною силою соціально-економічного розвитку міста. Питання вибору найбільш відповідної технології на етапі проектування є вирішальним фактором кінцевої якості функціонування та надійності мережі. Використання спеціалізованих стандартів та технологій дозволяє забезпечити надійність та ефективність бездротових сенсорних мереж у міських умовах.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналіз параметрів роботи мережі безпроводових сенсорів на основі нових технологічних рішень в умовах концепції “розумного міста”.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити концепцію “розумного міста”;
- проаналізувати доступні стандарти та технології WSN;
- запропонувати технології, які будуть ефективно реалізувати мережу безпроводових сенсорів в умовах “розумного міста”;

Об’єкт дослідження: розумне місто.

Предмет дослідження: технології безпроводових сенсорних мереж в умовах концепції “розумного міста”.

ABSTRACT

Master's thesis: 85 articles, 18 figures, 23 tables, 18 sources.

WIRELESS SENSOR NETWORK, WSN, ZIGBEE, SENSORS, SMART CITY, TOPOLOGY, MESH, AODV, ROUTING

Relevance of the work: Wireless sensor networks are a key technology for obtaining information about the environment. Urban modernization is the dominant driving force of the socio-economic development of the city. The question of choosing the most appropriate technology at the design stage is a decisive factor in the final quality of the network's functioning and reliability. The use of specialized standards and technologies allows to ensure the reliability and efficiency of wireless sensor networks in urban conditions.

Research goals and objectives. The purpose of the work is to analyze the parameters of the wireless sensor network based on the latest technological solutions in the context of the "smart city" concept.

To achieve the goal, it is necessary to solve the following tasks:

- explore the concept of a "smart city";
- analyze available WSN standards and technologies;
- to propose technologies that will effectively implement a network of wireless sensors in the context of a "smart city";

Object of research: smart city.

The subject of research: wireless sensor network technologies in the context of the "smart city" concept.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1.....	11
ОСОБЛИВОСТІ КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНОГО МІСТА» ТА ТЕХНОЛОГІЙ WSN	11
1.1. Перспективні технології Розумного міста	12
1.2. Послуги «розумного міста»	14
1.3. Поняття безпроводних сенсорних мереж	17
1.4. Топологія та архітектура БСМ	18
Висновки	21
РОЗДІЛ 2.....	22
СТАНДАРТИ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	22
2.1. Стандарт Wi-Fi	24
2.2. Стандарт WiMAX.....	26
2.3. Стандарт Bluetooth	29
2.4. Стандарт HomeRF	30
2.5. Стандарт ZigBee	31
Висновки	33
РОЗДІЛ 3.....	34
ОСОБЛИВОСТІ МАРШРУТИЗАЦІЇ В WSN	34
3.1. Основні принципи та задачі маршрутизації	34
3.2. Аналіз параметрів маршрутизації в БСМ	36
3.3. Класифікація протоколів маршрутизації в БСМ	46
3.4. Протокол AODV	51
3.5. Протокол LEACH.....	53
Висновки	55
РОЗДІЛ 4.....	57
ЗАСТОСУВАННЯ РОЗУМНИХ МІСТ.....	57
4.1. Розумний муніципальний нагляд.....	57
4.2. Розумне транспортування	58
4.3. Інтелектуальний моніторинг навколишнього середовища.....	60
4.4. Розумний туризм.....	62
Висновки	63
РОЗДІЛ 5.....	65

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	65
5.1. Опис ідеї проекту.....	65
5.2. Технологічний аудит ідеї стартап-проекту	66
5.3. Аналіз можливостей ринку для запуску проекту	68
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	75
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	77
Висновки	81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

BSM	Безпроводова сенсорна мережа;
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector (спеціальний дистанційно-векторний протокол динамічної маршрутизації за запитом)
P2P	Peer-to-peer (рівний до рівного)
WSN	Wireless Sensor Network (безпроводова сенсорна мережа)
QoS	Quality of Service (якість послуги)
LEACH	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
CH	Cluster Head - головний вузол кластера
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WPA	Wi-Fi Protected Access (захищений доступ Wi-Fi)
VPN	Virtual Private Network (віртуальна приватна мережа)

ВСТУП

В сучасному світі напрям безпроводових сенсорних мереж та віддаленого доступу зазнав дуже бурхливого розвитку.

Обмін інформації має здійснюватися якісно, безперебійно, та своєчасно. За допомогою застосування такої мережі можна виконувати різноманітні завдання: відстеження локації, переміщення людей на території, моніторинг навколишнього середовища та аналіз температури, стану здоров'я пацієнта і т.д. У наш час попит на бездротові технології невгамовно зростає.

Варто підкреслити те, що реалізація ефективного моніторингу процесів виробництва дозволяє знизити витрати і оптимізувати процес управління.

На сьогоднішній день кількість проданих сенсорів вже досягла кілька десятків мільйонів.

Бездротові сенсорні мережі можуть бути легко адаптовані до вирішення багатьох завдань практично у всіх сферах діяльності. Найбільш очевидна область застосування подібних мереж – це організація різних систем контролю і моніторингу, створення систем швидкого реагування в надзвичайних ситуаціях.

Переваги безпроводових сенсорних мереж:

- відсутність необхідності в прокладанні кабелів для електроживлення і передачі даних;
- низька вартість монтажу і технічного обслуговування системи;
- зручність розміщення автономних безпроводових вузлів в різноманітних точках простору;
- можливість впровадження і модифікації мережі на експлуатуємому об'єкті при мінімальному втручанні в процес його функціонування;
- надійність і відмовостійкість всієї системи в цілому при виході з ладу окремих вузлів або при порушенні зв'язку між ними.

В якості найбільш очевидних можна відзначити наступні завдання: протипожежні системи, організація систем безпеки – контроль периметру, визначення вторгнення, віддалене спостереження, контроль навколишнього

середовища поблизу місць зберігання радіоактивних матеріалів, хімічних або біологічних речовин.

Але на шляху до цього існує ряд проблем технологічного та експлуатаційного характеру, які вимагають пильного розгляду. Однією з цих проблем є визначення місця розташування окремих об'єктів сенсорної мережі.

Метою роботи є аналіз параметрів роботи мережі безпроводових сенсорів на основі нових технологічних рішень в умовах концепції “розумного міста”.

Для досягнення мети необхідно вирішити завдання:

- дослідити концепцію “розумного міста”;
- проаналізувати доступні стандарти та технології WSN;
- запропонувати технології, які будуть ефективно реалізувати мережу безпроводових сенсорів в умовах “розумного міста”.

Об’єкт дослідження: розумне місто.

Предмет дослідження: технології безпроводових сенсорних мереж в умовах концепції “розумного міста”.

Структура та обсяг дисертації: робота складається з реферату, змісту, списку умовних скорочень, вступу, п'ятих розділів, висновків до кожного розділу, загального висновку та списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ КОНЦЕПЦІЇ «РОЗУМНОГО МІСТА» ТА ТЕХНОЛОГІЙ WSN

Розумне місто (Smart City) – це концепція, в основі якої лежить місто, що використовує різноманітні інформаційні технології для ефективнішого функціонування та відповідності потребам його жителів. Метою створення Smart City вважається покращення та спрощення управління містом, благоустрій міського середовища, забезпечення безпеки та підвищення якості життя жителів міста [4]



Рис.1.1 Розумне місто

Безпроводові сенсорні мережі (WSN) є особливо важливими в умовах «розумного міста», оскільки вони побудовані на основі відносно дешевих та компактних сенсорів з низьким споживанням електроенергії і витратами на обслуговування та можливістю безпроводового передавання інформації, що робить можливим встановлення таких датчиків на великій кількості об'єктів для виконання важливих завдань, включаючи запобігання забрудненню місцевості, менеджмент відходів, моніторинг здоров'я, контроль дорожнього трафіка, оптимізація паркінгів тощо.

1.1. Перспективні технології Розумного міста

1. Відстеження пересувань за допомогою RFID.

Дана система дозволяє моніторити стан рухомих об'єктів, використовуючи радіочастотні мітки (RFID) і мережі зв'язку - бездротові, мобільні або фіксовані. Такі мітки можна розміщувати на робочому одязі, машинах або інструментах співробітників, які обслуговують міську інфраструктуру. Також технологія застосовується для управління доступом на міські об'єкти. [1]

2. Рухомі бездротові мережі.

Бездротові точки радіодоступу встановлюють на транспорт, включаючи громадський, машини комунальних служб, таксі і безпілотники. Рухомі точки доступу взаємодіють між собою, створюючи бездротові мережі, що самоорганізуються. Так можна забезпечити пасажирів підключенням до інтернету і отримувати дані з різних бортових датчиків - приміром, для оптимізації маршрутів і моніторингу міського транспорту. Динамічна конфігурація рухомих мереж дозволяє їм в режимі реального часу адаптуватися до зміни навантаження та інших параметрів. Алгоритми здатні підвищувати пропускну здатність і надійність мереж, зменшувати втрати і затримки, забезпечувати зв'язок в "мертвих зонах" і знижувати витрати на послуги.[1]

3. Телеметричні мережі пристроїв.

Мова йде про побудову пористих, або mesh-мереж, в яких вузли об'єднуються за принципом "кожен з кожним". Дана схема не проста в налаштуванні, але забезпечує високу стійкість: обрив одного з'єднання не позначається на роботі мережі в цілому. Завдання з передачі даних реалізують самі бездротові прилади: вони моніторять мережу і самотужки обирають інші пристрої для обробки пакету даних.[1]

4. Контент для доповненої реальності.

Тут використовується інформація від зовнішнього електронного сенсора. Ці дані допомагають ідентифікувати об'єкт, визначити його властивості і місце розташування, в тому числі по висоті. Контент

доповненої реальності оновлюється по мірі руху пристрою. Можливість ідентифікувати об'єкт і оцінити його параметри знадобиться розумним містам при будівництві та моніторингу муніципальної інфраструктури. Технологія дозволяє розпізнавати об'єкти і аналізувати їх стан, необхідність ремонту або заміни.[1]

5. *Технологія VLC (Visible Light Communication) - передача даних через видиме світло.*

Її значимість - перетворення яскравості і частоти освітлення, що використовується для передачі інформації. Цей сигнал непомітний для людського ока, оскільки передається з дуже високою частотою. Розробка призначена для транспортної сфери: машини, що йдуть в одному потоці, зможуть обмінюватися інформацією. Бортові датчики автомобілів реєструють різні дорожні події - аварії, появу тварин або пішоходів на проїзній частині, ушкоджене покриття.

Потім інформація по ланцюжку передається машинам, які рухаються ззаду. Як передавачі використовуються фари стоп-сигналів або ліхтарі в задній частині транспортних засобів. Схоплюють інформацію - фронтальні камери або спеціальні фотодатчики на автомобілях.

Перспективи VLC не обмежуються транспортом. Будь-який прилад освітлення на підприємствах або вулицях потенційно можна перетворити в приймач або передавач сигналу. А алгоритми - адаптувати для збору даних і управління об'єктами. Так, для прикладу, вантажні безпілотники і підключені автомобілі можуть обмінюватися даними з іншими машинами, мережами і сервісами.[1]

6. *Технологія LoRa для бездротового зв'язку на великій відстані.*

Така передача даних стала допустимою завдяки напівпровідниковим схемам, які споживають дуже мало енергії. Залежно від функціональності такого радіопередавача він може працювати від акумулятора протягом багатьох років. Мережа LoRa працює в неліцензійному спектрі. Це забезпечує двосторонній зв'язок без зайвих "бюрократичних" витрат. Гарний приклад переваг, які надає технологія LoRa, - Бостон (штат Массачусетс,

США). У місті понад 67 тис. вуличних ліхтарів, понад 1600 розподільних коробок і 32 тис. кришок люків. Мережа LoRa дозволила забезпечити їх всі датчиками, інтегрованими в систему, яка збирає дані про використання всіх компонентів. Потім шлюз відправляє інформацію на хмарний сервер, який аналізує дані, управляє освітленням і при необхідності автоматично генерує попередження про відключення світла і інші несправності, повідомляє про необхідність обслуговування.[1]

1.2. Послуги «розумного міста»

Термін «розумне місто» зазвичай застосовується по відношенню до міст, які активно використовують технології безліччю різноманітних способів, щоб більш ефективно функціонувати і відповідати потребам своїх жителів. Збираючи і опрацьовуючи інформацію в реальному часі, можна використовувати наявні ресурси з більшою продуктивністю і таким чином економити ресурси, діяти більш раціонально і надавати обслуговування вищого рівня. Такий процес передбачає інтеграцію і координацію міських служб, а також моніторинг їх роботи, режим якої повинен вибудовуватися з урахуванням відповідності попиту на ці послуги та їх доступності [6].

Крім ідеї продуктивності, розумні міста втілюють концепцію сумлінного управління, способу зближення уряду міста з його жителями. Висловлюючи свої побажання і потреби, останні отримують можливість бути почутими. Замість того, щоб відправляти вантажівки за фіксованим розкладом збирати скло із сміттєвих баків в житлових районах, на центральний комп'ютер буде подаватися сигнал сенсора, який повідомляє, що бак майже повний і його треба спорожнити. Або, припустимо, ви можете перевірити на своєму смартфоні або комп'ютері завантаженість доріг: якщо перед вашим відправленням ви бачите, що на вашому шляху затори, ви можете вибрати альтернативу[15].

Ще один приклад - це розумне освітлення на автомобільних дорогах. Світло включається тільки тоді і там, де є машини. Якщо на певній частині траси машин немає, ліхтарі вимикаються і енергія таким чином економиться.

Багато міст по всьому світу шукають шляхи використання технологій для поліпшення якості роботи міських служб. Звичайно, у міст в розвинених країнах світу, з розвинутою інфраструктурою є перевага перед країнами, що розвиваються. Однак в менш розвинених місцях навіть невеликі кроки можуть викликати колосальні зміни. Наприклад, виявлення витоків в системі водопостачання та їх усунення в великих і невеликих містах допоможе заощадити величезну кількість води [6].

Раціональне водовикористання допомагає не тільки економити воду, але і більш ефективно використовувати ресурси сервісного обслуговування і ремонту. Концепція розумних технологій передбачає наявність безлічі сенсорів різних видів: входних точок для прийому інформації та її обробки, розвинених систем збору даних, а також спеціалізованого програмного забезпечення для аналітики. На додаток до пасивних сенсорів, розумні міста покладаються також на своїх громадян, які передають інформацію безпосередньо через свої смартфони або інші пристрої.

Деякі дослідників розробили бачення побудови розумного міста, а саме описують будівництво розумного міста у три рівні:

- Перший рівень - це “рівень сприйняття”, в якому різні дані збираються з різних джерел даних, таких як камери, GPS, сенсорна мережа;
- Другий рівень, «Мережевий рівень» відповідає за передачу даних, зібраних з рівня 1, до центру зберігання даних;
- Третій рівень, називається «Рівень додатків», що містить програми для аналізу та обробки масивних даних, що знаходяться в центрі зберігання даних, як показано в Рисунок 1.2



Рис.1.2 Схема архітектури міста

Застосування WSN численне і різноманітне. Вони використовуються в комерційних і промислових системах для моніторингу даних, які важко або дорого контролювати з використанням проводових датчиків. WSN можуть використовуватися в районах куди складно дістатись людині, де вони можуть залишатися протягом багатьох років (екологічний моніторинг навколишнього середовища) без необхідності заміни джерел живлення. Вони можуть контролювати дії порушників на об'єктах під охороною[15].

Також, WSN використовують для моніторингу, відслідковування і контролю.

Ось деякі приклади застосування WSN:

- моніторинг задимлення і локалізація осередків займання великих лісних масивів і торф'яників;
- сейсмічне знаходження потенційної напруженості;
- військові спостереження;
- акустичний моніторинг руху об'єктів в охоронних системах;
- екологічний моніторинг навколишнього середовища;

- моніторинг промислових процесів, використання в MES системах;
- медичний моніторинг[15].

1.3. Поняття безпроводних сенсорних мереж

Бездротова сенсорна мережа (БСМ) (англ. WSN - Wireless Sensor Network) – розподілена сенсорна мережа множини сенсорів і виконавчих пристроїв, що самоорганізуються, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалів[15].

Переваги бездротових сенсорних мереж:

- здатність до самовідновлення та самоорганізації;
- здатність передавати інформацію на значні відстані при малій потужності передавачів (шляхом ретрансляції);
- низька вартість вузлів і їх малий розмір;
- низьке енергоспоживання і можливість електроживлення від автономних джерел;
- простота установки, відсутність необхідності в прокладанні кабелів (завдяки бездротовій технології і живленню від батарей);
- можливість установки таких мереж на вже існуючий і експлуатується об'єкт без проведення додаткових робіт;
- низька вартість технічного обслуговування [2].

Основні поняття сенсорних мереж:

- Сенсор (англ., sensor) – пристрій, який сприймає контрольований вплив (світло, тиск, температуру і т. д.), вимірює його кількісні та якісні характеристики і перетворює дані вимірювання в сигнал. Сигнал може бути електричний, хімічний або іншого типу.
- Датчик (англ., transducer) – пристрій, який використовується для перетворення одного виду енергії в інший. Отже, сенсор також є датчиком, який перетворює фізичну інформацію в електричну, яка може бути передана обчислювальній системі чи контролеру для обробки.

- Актуатор (англ., actuator) – виконавчий пристрій, що реагує на сигнал який надійшов для зміни стану керованого об'єкта. В актуаторі відбувається перетворення типів енергії, наприклад, електрична енергія, або енергія стисненого (розрідженого) повітря (рідини, твердого тіла) перетворюється в механічну.

- Сенсорний вузол (англ., Sensornode) – це пристрій, який складається, принаймні, з одного сенсора (може також включати один або декілька актуаторів), і має обчислювальні і дротові або бездротові мережеві можливості.

- Сенсорна мережа – система розподілених сенсорних вузлів, взаємодіючих між собою, а також з іншими мережами для запитів, обробки, передачі та надання інформації, отриманої від об'єктів реального фізичного світу з метою вироблення відповідної реакції на цю інформацію. Таким чином, сенсорна мережа включає в себе як мінімум сенсори, актуатори і комунікаційні вузли. Основною областю застосування сенсорної мережі є контроль і моніторинг вимірюваних параметрів фізичного середовища і об'єктів та в деяких випадках - управління цими об'єктами (активація в них певних процесів)[2].

Приклади сенсорних мереж:

- всепроникні сенсорні мережі (USN- Ubiquitous Sensor Network),
 - мережі для транспортних засобів (VANET- Vehicular Ad Hoc Network),
 - муніципальні мережі (HANET - Home Ad hoc Network),
 - медичні мережі (MBAN (S) - Medicine Body Area Network (services))
- 21 та ін.

1.4. Топологія та архітектура БСМ

Побудова ефективних і надійних сенсорних мереж є нелегким завданням, що повинне враховувати певні аспекти.

По-перше, стійкість при несправності. Сенсорна мережа повинна продовжувати повноцінно функціонувати і надавати необхідні дані навіть якщо сенсор або група сенсорів, що належать мережі, вийде з ладу. Протоколи маршрутизації та алгоритми управління мережею повинні забезпечувати швидку адаптацію мережі до нової фізичної топології[15].

По-друге, масштабованість. Кількість вузлів в мережі може змінюватися в залежності від розвитку самої мережі, на сьогоднішній день розмір сенсорних мереж може обмежуватися як кількома сотнями, так і кількома тисячами. Істотне збільшення кількості сенсорів може призвести до перевантаження маршрутних таблиць, блокування сенсорів, і, як наслідок, до виходу сенсорної мережі з ладу[15].

По-третьє, топологія. Зміна топології бездротової сенсорної мережі може бути викликана введенням нових сенсорів в діючу мережу, виходом з ладу сенсорів, що належать сенсорній мережі, а також у разі, якщо сенсори є мобільними.

Одним з важливих факторів, що впливають на властивості мережі, є її топологія, тобто розташування вузлів відносно один одного в зоні обслуговування. На каналному рівні в стандарті IEEE 802.15.4 наведені загальні рекомендації до побудови топології мережі. Мережі можуть бути одноранговими P2P, або мати топологію «зірка» (рис. 1.2) [5].

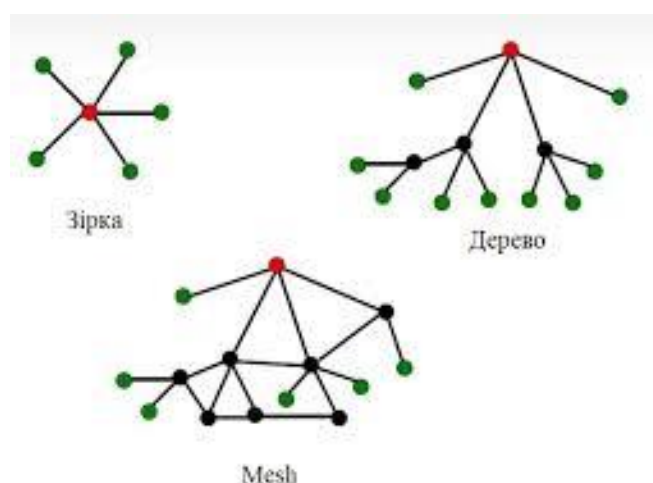


Рис. 1.2 Топологія БСМ

На основі структури P2P можуть формуватися довільні структури з'єднань, обмежені лише дальністю зв'язку між парами вузлів. З урахуванням цього, можливі різні варіанти топологічної структури WSN, зокрема «дерево» кластерів - структура, в якій вузли, будучи «листям дерева», пов'язані тільки з одним повнофункціональним пристроєм, тобто пристроєм, який може виконувати функції і координатора і вузла, а більшість вузлів в мережі є повнофункціональними пристроями[15].

Можлива також mesh-топологія мережі, сформована на основі кластерних «дерева» з локальним координатором для кожного кластера, що містить глобальний мережевий координатор. Топологія мережі багато в чому визначає вибір технологій фізичного і канального рівнів, протоколів самоорганізації.

У свою чергу, вибір способу розташування вузлів мережі залежить від її призначення, параметрів вузлів, способу їх інсталяції. Якщо вузли мережі «прив'язані» до деяких об'єктів інфраструктури, наприклад, до контрольованих або керованих об'єктів, то їх розташування визначається, по-перше, розміщенням цих об'єктів, а також способом розміщення деяких вузлів, що виконують допоміжні функції. При «прив'язці» до об'єктів інфраструктури, їх розміщення можна вважати детермінованим, при якому відомі координати вузлів і відстані між ними [5].

При розгляді мережі з фіксованими (нерухомими) вузлами, в залежності від її призначення, розподіл вузлів в зоні обслуговування може бути виконано різними способами. При цьому можуть вирішуватися такі завдання як покриття деякої області або областей в зоні обслуговування зонами дії сенсорних пристроїв, що входять до складу вузлів мережі, забезпечення зв'язності мережі та її надійності.

У загальному випадку, розміщення вузлів можна розглядати як випадкове. У реальній мережі при детермінованому розміщенні вузлів неможливо забезпечити абсолютну точність їх установки, а тому цей випадок не суперечить припущенню про випадковий характер їх розміщення.

При прив'язці вузлів до користувачів, наприклад, розподіл індивідуальних пристроїв, аналогічних по розміщенню терміналів мереж рухомого зв'язку, визначається розподілом користувачів (абонентів). При прив'язці до речей, що оточують людину, розподіл вузлів в просторі визначається розподілом цих речей.

Топологія самоорганізованої безпроводової мережі в значній мірі впливає на основні показники її функціонування, якими є доступність і час доставки повідомлення (даних). Як правило, поняття доступності розглядається як можливість надання послуги. У розглянутих мережах ця можливість безпосередньо пов'язана з поняттям зв'язності [5].

Висновки

Було розглянуто концепції розумних міст, в якій зазначається, що справжнє місто можна легко інтегрувати в розумне місто за допомогою сенсорних мереж або Інтернету речей. Більш інтелектуальні послуги з управління містами та державних послуг можна буде надати для розумних міст за допомогою складних і масивних обчислень, аналізу та видобутку даних на платформах хмарних обчислювань.

Вибір топології безпосередньо впливає на властивості мережі, тому питання вибору топології на етапі планування мережі стоїть гостро і потребує розуміння та врахування всіх кінцевих цілей розгортання мережі та перспектив її розвитку.

РОЗДІЛ 2

СТАНДАРТИ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) - це один з найбільш перспективних напрямків у розвитку телекомунікаційних систем на сьогоднішній день. Вузли мініатюрних розмірів (плата розміром з один кубічний дюйм), інтегрований радіоінтерфейс, низьке споживання енергії, досить невисока вартість роблять цю мережу дуже вигідною для використання в тих областях життєдіяльності, де необхідно провести побудову систем контролю і управління або стежити за безпекою. [15]

Безпроводова сенсорна мережа необхідна в першу чергу в таких областях, де взагалі неможлива прокладка кабелів з технічних, економічних або організаційних причин [7].

Вузол сенсорної мережі (мот) - являє собою плату, на якій знаходяться приймач, мікроконтролер, батареї, пам'ять і датчик. Датчики можуть використовуватися найрізноманітніші, найчастіше застосовуються датчики температури, тиску, вологості, освітленості, рідше датчики вібрації або хімічних вимірювань. На моти встановлюється спеціальне програмне забезпечення, за допомогою якого вони організовують мережу, обмінюються інформацією між собою.

Більшість безпроводових сенсорних мереж використовує TinyOS - програмне забезпечення, розроблене в Університеті Берклі. Максимальна відстань, на яку можливо передати повідомлення становить не більше 100 метрів. Для того щоб отримувати і відправляти дані, кожен вузол оснащений антеною.

Процес роботи сенсорної мережі представлений на рисунку 2.1[7]

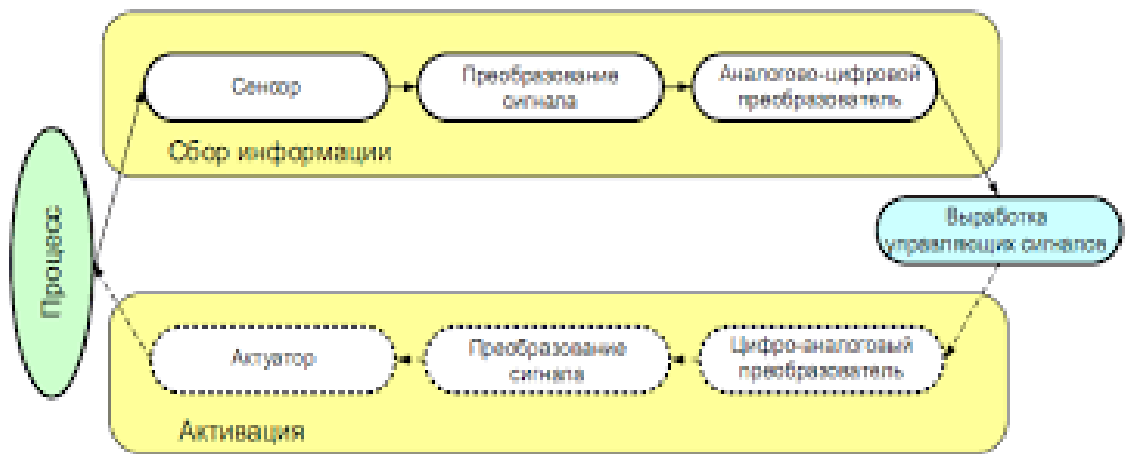


Рис.2.1 Процес роботи мотів в сенсорній мережі

Вузли сенсорної мережі можуть бути стаціонарними, закріпленими на певному місці, можуть також кріпитися на пересувні об'єкти і вільно переміщатися, залишаючись при цьому частиною мережі. Моти передають інформацію один одному, а ті моти, які опиняються поруч зі шлюзом, відправляють йому всі акумульовані дані. При виході деяких мотів з ладу, мережа, після переконфігурації, продовжує працювати. На рисунку 2.2 показано внутрішню будову вузла сенсорної мережі [7].

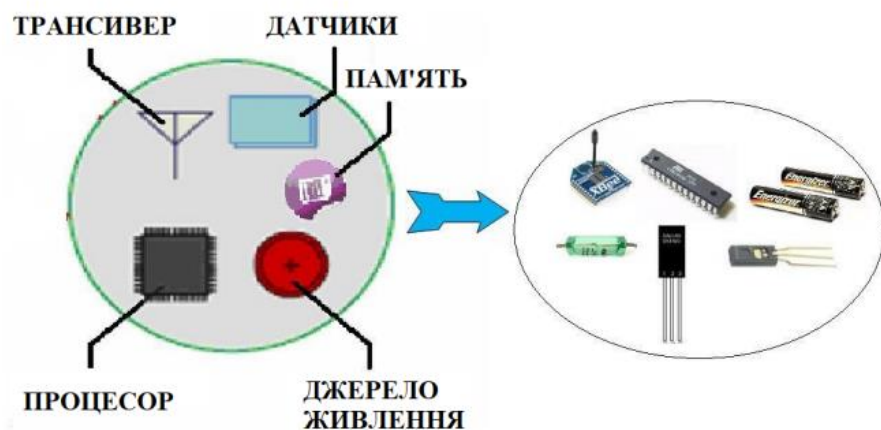


Рис.2.2 Вузол сенсорної мережі

Багато стандартів передавання даних, такі як: Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, HomeRF, ZigBee ділять між собою діапазон 2,4 ГГц, тим самим створюючи один одному перешкоди.

2.1. Стандарт Wi-Fi

Wi-Fi - торгова марка Wi-Fi Alliance для безпроводових мереж на базі стандарту IEEE 802.11. Ноутбук або смартфон без підключення до мережі Інтернет сьогодні є практично безкорисним шматком заліза. Завдяки широкому використанню Wi-Fi для вирішення проблеми підключення до Інтернету цей термін став добре відомим.

Не зважаючи на те, що спочатку в деяких прес-релізах WECA фігурувало словосполучення Wireless Fidelity (безпроводова точність), на даний момент від такого формулювання відмовилися, і термін Wi-Fi ніяк не розшифровується. Продукти, що призначалися спочатку для систем касового обслуговування, були виведені на ринок під маркою WaveLAN і забезпечували швидкість передавання даних від 1 до 2 Мбіт / с. Творець Wi-Fi - Вік Хейз (Vic Hayes) знаходився в команді, що брала участь в розробці таких стандартів, як IEEE 802.11b, IEEE 802.11a і IEEE 802.11g [8].

Зазвичай схема мережі Wi-Fi містить не менше однієї точки доступу і не менше одного клієнта. Також можливе підключення двох клієнтів в режимі точка-точка (Ad-hoc), коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються за допомогою мережевих адаптерів безпосередньо. Точка доступу передає свій ідентифікатор мережі (SSID) за допомогою спеціальних сигнальних пакетів зі швидкістю 0,1 Мбіт / с кожні 100 мс. Тому 0,1 Мбіт / с - найменша швидкість передавання даних для Wi-Fi. Знаючи SSID мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливе підключення до даної точки доступу. При попаданні в зону дії двох точок доступу з ідентичними SSID приймач може вибирати між ними на підставі даних про рівень сигналу. Стандарт Wi-Fi дає клієнтові повну свободу при виборі критеріїв для з'єднання. Пристрої Wi-Fi широко поширені на сучасному ринку[8].

Сумісність устаткування гарантується завдяки обов'язковій його сертифікації з логотипом Wi-Fi. Випромінювання від Wi-Fi-пристроїв в момент передавання даних на два порядки (в 100 разів) менше, ніж від стільникового телефону. Технологія дозволяє розгорнути мережу без

прокладки кабелю, що може зменшити вартість розгортання і / або розширення мережі. Місця, де не можна прокласти кабель, наприклад, поза приміщеннями і в будівлях, що мають історичну цінність, можуть обслуговуватися безпроводовими мережами. Технологія дозволяє мобільним пристроям мати доступ до мережі [8].

Стандарт шифрування WEP може бути відносно легко зламаний, навіть при правильній конфігурації (через слабку стійкість алгоритму). Незважаючи на те, що нові пристрої підтримують досконаліший протокол шифрування даних WPA і WPA2, багато старих точки доступу не підтримують його і вимагають заміни. Прийняття стандарту IEEE 802.11i (WPA2) в червні 2004 року зробило доступною більш ефективну схему аутентифікації і шифрування, яка застосовується в новому обладнанні[15].

Для реалізації протоколів WPA і WPA2 потрібно більш надійний пароль, ніж той, який зазвичай призначається користувачем. Стандарт IEEE 802.11 визначає два режими роботи мережі - Ad-hoc (BSS - Basic Service Set) і інфраструктурний ESS - Extended Service Set. Режим Ad-hoc («точка-точка») - це проста мережа, в якій зв'язок між станціями (клієнтами) встановлюється безпосередньо, без використання спеціальної точки доступу.

У режимі інфраструктурний ESS безпроводова мережа складається, як мінімум, з однієї точки доступу, підключеної до провідної мережі, і деякого набору безпроводових клієнтських станцій. Для організації безпроводової мережі в замкнутому просторі застосовуються передавачі зі всеспрямованими антенами. Слід мати на увазі, що через стіни з великим вмістом металевої арматури (в залізобетонних будівлях такими є несучі стіни) радіохвилі діапазону 2,4 ГГц іноді можуть взагалі не проходити, тому в кімнатах, розділених подібною стіною, доведеться ставити свої 23 точки доступу.

Потужність, яку випромінює передавач точки доступу або ж клієнтської станції, що працює за стандартом IEEE 802.11, не перевищує 0,1 Вт, але багато виробників безпроводових точок доступу обмежують потужність лише програмним шляхом, і досить просто підняти потужність до

0,2-0,5 Вт. Для порівняння - потужність, яку випромінює мобільний телефоном на порядок більше (в момент дзвінка - до 2 Вт). Оскільки, на відміну від мобільного телефону, елементи мережі розташовані далеко від голови, в цілому можна вважати, що безпроводові комп'ютерні мережі більш безпечні з точки зору здоров'я, ніж мобільні телефони [8].

Продукти для безпроводових мереж, що відповідають стандарту IEEE 802.11, пропонують чотири рівні засобів безпеки: фізичний, ідентифікатор набору служб (SSID - Service Set Identifier), ідентифікатор управління доступом до середовища (MAC ID - Media Access Control ID) і шифрування. Багато організацій використовують додаткове шифрування (наприклад, VPN) для захисту від вторгнення. На даний момент основним методом злому WPA2 є підбір пароля, тому рекомендується використовувати складні цифробуквенні паролі для того, щоб максимально ускладнити завдання підбору пароля.

2.2. Стандарт WiMAX

WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) - телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального безпроводового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів).

Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають Wireless MAN (WiMAX слід вважати жаргонним назвою, так як це не технологія, а назва форуму, на якому Wireless MAN і був узгоджений). WiMAX підходить для вирішення завдання з'єднання точок доступу Wi-Fi один з одним і іншими сегментами Інтернету, а також забезпечення безпроводового широкосмугового доступу як альтернативи виділеним лініям і 24 xDSL. [15]

WiMAX дозволяє здійснювати доступ в Інтернет на високих швидкостях, з набагато більшим покриттям, ніж у Wi-Fi-мереж. Це дозволяє використовувати технологію в якості магістральних каналів, продовженням яких виступають традиційні виділені і xDSL-лінії, а також локальні мережі. В

результаті подібний підхід дозволяє створювати масштабовані високошвидкісні мережі в рамках міст.

WiMAX - це система далекої дії, що покриває кілометри простору, яка зазвичай використовує ліцензовані спектри частот (хоча можливо і використання неліцензованих частот) для надання з'єднання з інтернетом типу точка-точка провайдером кінцевому користувачеві[11].

Різні стандарти сімейства 802.16 забезпечують різні види доступу, від мобільного (схожий з передаванням даних у мобільних телефонів) до фіксованого (альтернатива провідного доступу, при якому безпроводове обладнання користувача прив'язане до місця розташування).

На відміну від WiMAX, Wi-Fi - це система більш короткої дії, зазвичай покриває десятки метрів, яка використовує неліцензовані діапазони частот для забезпечення доступу до мережі. Зазвичай Wi-Fi використовується користувачами для доступу до їх власної локальної мережі, яка може бути і не підключена до Інтернету. Якщо WiMAX можна порівняти з мобільним зв'язком, то Wi-Fi швидше схожий на стаціонарний безпроводовий телефон (радіотелефон). WiMAX і Wi-Fi мають абсолютно різний механізм Quality of Service (QoS).

WiMAX використовує механізм, заснований на встановленні з'єднання між базовою станцією і пристроєм користувача. Кожне з'єднання засноване на спеціальному алгоритмі планування, який може гарантувати параметр QoS для кожного з'єднання. Wi-Fi, в свою чергу, використовує механізм QoS подібний до того, що використовується в Ethernet, при якому пакети отримують свої пріоритети[15].

Такий підхід не гарантує однаковий QoS для кожного з'єднання. Набір переваг притаманний всьому сімейству WiMAX, однак його версії істотно відрізняються один від одного. Розробники стандарту шукали оптимальні рішення як для фіксованого, так і для мобільного застосування, але поєднати всі вимоги в рамках одного стандарту не вдалося. Хоча ряд базових вимог збігається, націленість технологій на різні ринкові ніші призвела до

створення двох окремих 25 версій стандарту (вірніше, їх можна вважати двома різними стандартами).

Кожна з специфікацій WiMAX визначає свої робочі діапазони частот, ширину смуги пропускання, потужність випромінювання, методи передавання та доступу, способи кодування і модуляції сигналу, принципи повторного використання радіочастот та інші показники. Тому WiMAX-системи, засновані на версіях стандарту IEEE 802.16 e і d, практично несумісні[11].

Основна відмінність двох технологій полягає в тому, що фіксований WiMAX дозволяє обслуговувати тільки статичних абонентів, а мобільний орієнтований на роботу з користувачами, що пересуваються зі швидкістю до 150 км / г. Мобільність означає наявність функцій роумінгу і "безшовного" перемикання між базовими станціями при пересуванні абонента (як відбувається в мережах стільникового зв'язку). В окремому випадку мобільний WiMAX може застосовуватися і для обслуговування фіксованих користувачів[11].

З винаходом мобільного WiMAX все більший акцент робиться на розробці мобільних пристроїв, в тому числі, спеціальних телефонних трубок (схожих на звичайний мобільний смартфон), і комп'ютерної периферії (USB-радіомодулів і PC card). Устаткування для використання мереж WiMAX поставляється кількома виробниками і може бути встановлено як в приміщенні (пристрої розміром зі звичайний xDSL-модем), так і поза ним.

Слід зауважити, що обладнання, яке розраховане на розміщення усередині приміщень і не вимагає професійних навичок при установці, звичайно, зручніше, проте здатне працювати на значно менших відстанях від базової станції, ніж професійно встановлені зовнішні пристрої. Тому обладнання, встановлене всередині приміщень, вимагає набагато більших інвестицій в розвиток інфраструктури мережі [11].

У загальному вигляді WiMAX мережі складаються з наступних основних частин: базових і абонентських станцій, а також обладнання, що зв'язує базові станції між собою, з постачальником сервісів і з Інтернетом.

Структура мереж сімейства стандартів IEEE 802.16 схожа з традиційними GSM-мережами (базові станції діють на відстанях до десятків кілометрів, для їх установки не обов'язково 26 будувати вежі - допускається установка на дахах будинків при дотриманні умови прямої видимості між станціями). [15]

WiMAX застосовується як для вирішення проблеми "останньої милі", так і для надання доступу в мережу офісним та районним мережам. Для з'єднання базової станції з абонентською використовується високочастотний діапазон радіохвиль від 1,5 до 11 ГГц. В ідеальних умовах швидкість обміну даними може досягати 70 Мбіт / с, при цьому не потрібно забезпечення прямої видимості між базовою станцією і приймачем. Між базовими станціями встановлюються з'єднання (прямої видимості), що використовують діапазон частот від 10 до 66 ГГц, швидкість обміну даними може досягати 140 Мбіт / с.

При цьому принаймні одна базова станція підключається до мережі провайдера з використанням класичних дротових з'єднань. Однак, чим більше число БС підключено до мереж провайдера, тим вище швидкість передавання даних і надійність мережі в цілому

2.3. Стандарт Bluetooth

Bluetooth забезпечує обмін інформацією між такими пристроями як персональні комп'ютери (настільні, кишенькові, ноутбуки), мобільні телефони, принтери, цифрові фотоапарати, мишки, клавіатури, джойстики, навушники, гарнітури на надійній, недорогій, повсюдно доступній радіочастоті для ближнього зв'язку[10].

Безпроводовий канал дозволяє цим пристроям повідомлятися, коли вони знаходяться в радіусі від 1 до 200 м один від одного (дальність сильно залежить від перешкод і перешкод), навіть у різних приміщеннях. Варто відзначити, що компанія AIRcable випустила Bluetooth-адаптер Host XR з радіусом дії близько 30 км. Для спільної роботи Bluetooth-пристроїв

необхідно, щоб всі вони підтримували загальний профіль. Профіль - набір функцій або можливостей, доступних для певного пристрою Bluetooth.

Технологія Bluetooth спирається на неліцензованому частотний діапазон 2,4 ÷ 2,4835 ГГц. При цьому використовуються широкі захисні смуги: нижня межа частотного діапазону 27 становить 2 ГГц, а верхня - 3,5 ГГц. Частота (положення центру спектра) задається з точністю ± 75 кГц. Дрейф частоти в цей інтервал не входить. Кодування сигналу здійснюється за дворівневою схемою GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Логічного 0 і 1 відповідають дві різні частоти. В обумовленій частотній смузі виділяється 79 радіоканалів по 1 МГц кожен [10].

2.4. Стандарт HomeRF

HomeRF - безпроводова технологія, спеціально орієнтована на мережі, створювані в домашніх умовах. Головна ідея HomeRF полягає в тому, що у домашніх користувачів потреби зовсім відмінні від потреб корпоративних користувачів. Це означає, що і рішення, які для них потрібні, спеціально для них і розроблені. HomeRF прагне працювати в цій ніші ринку, поставляючи пристрої, які досить легко встановлюються, прості у використанні і більш доступні, ніж сучасні безпроводові рішення масштабу підприємства[11].

HomeRF заснований на декількох існуючих стандартах передавання голосу іданих і об'єднує їх в єдине рішення. Воно працює в смузі частот ISM 2,4 ГГц з використанням FHSS. Скачки по частотах відбуваються зі швидкістю від 50 до 100 разів на секунду. Позбавлення від інтерференції відбувається за допомогою рознесення сигналів за часом і частоті[11].

HomeRF використовує радіопередавачі низької потужності, які подібні до тих, що використовуються в персональних безпроводових мережах стандарту 802.15 на основі технології Bluetooth. Різниця між двома технологіями полягає в тому, що HomeRF орієнтована тільки на ринок домашніх користувачів, включаючи SWAP (Standard

Wireless Access Protocol - стандартний протокол безпроводового доступу), який в рамках HomeRF дає можливість більш ефективно обробляти мультимедіа додатки. Передавачі діють на відстані 40-50 м від базової станції і можуть бути вбудовані в картки типу Compact Flash.

2.5. Стандарт ZigBee

ZigBee - назва набору мережевих протоколів верхнього рівня, які використовують маленькі, малопотужні радіопередавачі, засновані на стандарті IEEE 802.15.4. Цей стандарт описує безпроводові персональні обчислювальні мережі (WPAN).

ZigBee націлена на додатки, яким потрібен тривалий час автономної роботи від батареї і висока безпека передавання даних при невеликих швидкостях їх передавання. Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при відносно невисокому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології безпроводового зв'язку («точка-точка» і «зірка»), а й складні безпроводові мережі з комірчастою топологією з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень[12].

Області застосування даної технології - це побудова безпроводових мереж датчиків, автоматизація житлових і споруджуваних приміщень, створення індивідуального діагностичного медичного обладнання, системи промислового моніторингу та управління, а також при розробці побутової електроніки і персональних комп'ютерів. Ім'я бренду походить від поведінки медових бджіл, після повернення їх у вулик. [15]

Мережі, утворені за протоколом ZigBee почали розглядатися з 1998, коли виникла необхідність в самоорганізованих системах зв'язку. ZigBee працює в промислових, наукових і медичних (ISM-діапазон) радіодіапазоні: 868 МГц в Європі, 915 МГц в США і в Австралії, і 2,4 ГГц в більшості країн в світі (під більшістю юрисдикцій країн світу).

Так як ZigBee-пристрій більшу частину часу перебуває в сплячому режимі, рівень споживання енергії може бути дуже низьким, завдяки чому досягається тривала робота від батарей. ZigBee-пристрій може активуватися (тобто переходити від сплячого режиму до активного) за 15 мс або менше, затримка його відгуку може бути дуже малою, особливо в порівнянні з Bluetooth, для якого затримка, що утворюється при переході від сплячого режиму до активного, зазвичай досягає трьох секунд. 29 Беручи до уваги такі критерії, як ціна чіпів, дешевизна і швидкість освоєння технології, низьке енергоспоживання і стійкість перед перешкодами, можна сказати, що ZigBee нерідко є зараз кращим вибором[12].

Чіпи для реалізації ZigBee випускають такі відомі фірми, як Texas Instruments, Freescale, Atmel, STMicroelectronics, OKI і т.д. Це гарантує низькі ціни на комплектуючі для даної технології. ZigBee - це технологія, що заповнює нішу низькошвидкісних безпроводових мереж з низьким енергоспоживанням, призначених для систем управління з великою кількістю вузлів, таких як системи освітлення в будівлях, системи спостереження за парком промислового обладнання і т.д. [15]

В даний час досить доступними є модулі ZigBee: ETRX2, ETRX3, випущені фірмою Telegesis. Для ознайомлення з ними існують стартові набори, що включають в себе модуль-координатор, який має USB-роз'єм, і три інших модуля, які можна налаштувати на роботу роутера або кінцевого пристрою, що займає датчиками температури і освітленості, тестовими кнопками і т.п. В таблиці 2.1 наведено порівняльну характеристику основних стандартів[12].

Таблиця 2.1

Стандарт	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)
Частотний діапазон	2,4-2483 ГГц	2,4-2,483 ГГц	2,4-2,483 ГГц
Пропускна здатність кбіт/с	250	11000	723,1
Розмір стека протоколу, кбайт	32-64	більше 1000	більше 250
Час безперервної роботи від батареї, дн	100-1000	0,5-5	1-10
Максимальна кількість вузлів в мережі	65536	100	7
Діапазон дії, м	10-100	20-300	10-100
Сфера застосування	Віддалений моніторинг та керування	Передавання мультимедійної інформації	Альтернатива проводовому з'єднанню

Наведені в таблиці 2.1 характеристики демонструють, що оптимальним стандартом для безпроводової сенсорної мережі в умовах “розумного міста” можна вважати стандарт ZigBee, оскільки він забезпечує найкращий час роботи від вбудованих джерел живлення, що грає важливу роль, адже часто сенсори розміщені у важкодоступних місцях і їх регулярна заміна не є можливою. Іншим важливим параметром є максимальна кількість вузлів[12].

Висновки

1. WSN є необхідною основою для реалізації концепції “розумного міста”, адже завдяки роботі таких мереж з’являється можливість ефективного моніторингу та аналізу даних для впровадження необхідного рівня послуг.

2. До актуальних стандартів для організації BCM відносять: Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, HomeRF, ZigBee. Проаналізувавши та порівнявши перелічені стандарти, було обрано стандарт ZigBee, який поєднує в собі відносно низьку ціну, низьке енергоспоживання і стійкість до перешкод.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ МАРШРУТИЗАЦІЇ В WSN

Дані, зібрані датчиками в бездротових сенсорних мережах, зазвичай передаються до базової станції, яка з'єднує БСМ з іншими мережами, де дані можуть оброблятися та аналізуватися. Процес встановлення шляху передачі повідомлення від джерела до приймача (наприклад, базової станції) через один або кілька повторювачів називається маршрутизацією і є основною відповідальністю мереж рівня зв'язку.

3.1. Основні принципи та задачі маршрутизації

У малих сенсорних мережах, де датчики розташовані близько один до одного, може здійснюватись прямий зв'язок між усіма сенсорними вузлами з базовою станцією. На рис. 3.1 зображено принцип прямого зв'язку, коли всі сенсорні вузли можуть зв'язатися з приймачем без ретрансляції повідомлень через інші вузли. Ця модель прямого зв'язку – найпростіша реалізація, де всі дані здійснюють один стрибок для досягнення мети[15].

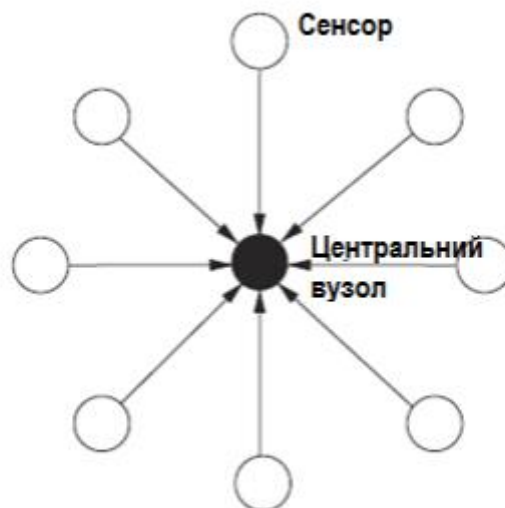


Рис. 3.1 Модель прямого зв'язку

Тим не менше, більшість БСМ складаються з великої кількості сенсорних вузлів, які покривають масштабну територію, що потребує використання непрямого зв'язку (рис. 3.2). Тобто, сенсорні вузли повинні не тільки генерувати і поширювати їх власну інформацію, але також виконувати функцію ретрансляції повідомлень від інших сенсорних вузлів. В даному

випадку, вирішальним завданням для мережевого рівня всіх сенсорних вузлів, полягає, в визначенні шляху від сенсора до приймача через безліч інших сенсорних вузлів, які діють як проміжні вузли[16].

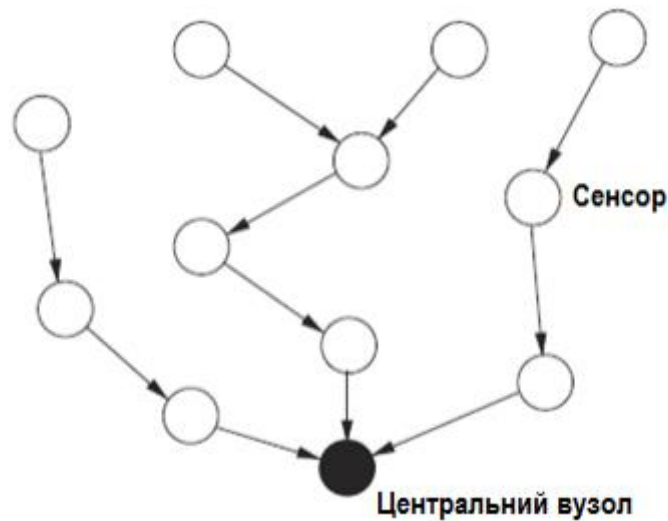


Рис. 3.2 Модель непрямого зв'язку

Цей спосіб маршрутизації протоколу є складним через унікальність характеристик БСМ, як брак ресурсів або ненадійність бездротового середовища. Наприклад, обмежена обробка даних, зберігання, пропускну здатність і енергоємність, вимагають рішень маршрутизації, які є легкими, в той час як можливі зміни в топології мережі, вимагають рішень маршрутизації які легко пристосовуються і є варіативними.

Коли вузли БСМ розгорнуті детермінованим способом (тобто, вони розташовані в певних визначених місцях), для зв'язку між ними і базовою станцією будуть використовуватись визначені маршрути маршрутизації. Проте, якщо вузли розташовані випадком чином, то топологія мережі є неоднорідною і заздалегідь непередбачуваною. В даному випадку, першочерговим завданням вузлів є самоорганізація, тобто, вони повинні співпрацювати, щоб визначити своє місце розташування у просторі, визначити сусідні до них вузли, і знайти шлях до базової станції [16]. В області БСМ одним з найбільш важливих параметрів є час життя мережі,

який визначається, як термін експлуатації мережі до першого виходу з ладу одного з вузлів через виснаження автономного джерела живлення.

Простий пошук маршрутів з мінімальною вартістю може призвести до нерівномірного розподілу мережевого навантаження між вузлами мережі, бо вузли, що знаходяться на часто використовуваних оптимальних маршрутах, будуть частіше виконувати ретрансляцію пакетів[16].

Отже, можуть утворюватися точки, які будуть задіяні для одночасної ретрансляції великих обсягів інформації. Поява таких точок із підвищеним навантаженням на вузли, сприяє виникненню проблем з пропускнуою спроможністю і передчасним виснаженням джерел енергії елементів. Тому для забезпечення високих показників ефективності та тривалості життя мережі в цілому, необхідно виконувати так зване балансування навантаження. Тобто розподілення потоків трафіку між вузлами для більш рівномірного використання їх ресурсів (в першу чергу, енергії). Таким чином, завдання пошуку маршрутів з балансуванням навантаження полягає в оптимізації загальних енергетичних витрат мережі, а не окремо для кожного з маршрутів[16].

Отже, для безпроводових сенсорних мереж можна виділити два завдання маршрутизації, які будуть відрізнятись критеріями пошуку маршрутів:

- завдання пошуку оптимальних маршрутів
- оптимальним маршрутом вважається шлях доставки пакетів інформації від вузла-відправника до вузла-призначення, що вимагає мінімальних сумарних витрат ресурсів вузлів цього шляху;
- завдання маршрутизації із забезпеченням максимальної тривалості життя мережі[16].

3.2. Аналіз параметрів маршрутизації в БСМ

В залежності від призначення, безпроводові сенсорні мережі широко відрізняються у своїх обмеженнях і характеристиках, що має братися до уваги при розробці протоколу маршрутизації. Наприклад, більшість БСМ

будуть обмежені в енергетичних ресурсах, продуктивності, ємності накопичувача. Сенсорні мережі можуть широко відрізнятися в масштабах та площах географічних зон, які вони покривають[16].

Всесвітні програми адресації (такі як IP адреси, які використовуються в інтернеті) можуть бути недоступними і навіть недоцільними, зокрема в мережах з різнотипними вузлами і мобільними вузлами. Нарешті, в залежності від призначення інформації, сенсорні дані будуть збиратися різними способами, що відрізняються один від одного.

У схемах керованих часом (наприклад, моніторинг навколишнього середовища), вузли періодично поширюють зібрані ними дані до приймача. У схемах керованих подіями (наприклад, виявлення пожеж руйнівної сили), вузли повідомляють про зібрану ними інформації тільки, коли відбувається цікава для них подія. Нарешті, в схемах керованих запитами, приймач розсилає запит на збір даних та проводить збір даних від сенсорів тільки, коли необхідно.

Отже, параметри маршрутизації використовуються, що б охарактеризувати різні цілі протоколів маршрутизації, з урахуванням використання цих ресурсів[16].

Розглянемо найважливіші параметри та критерії при розробці способу маршрутизації.

- ***Кількість проміжних вузлів***

Найбільш поширеним показником, що використовуються в протоколах маршрутизації – мінімальний хоп (або найкоротший хоп), тобто протокол маршрутизації намагається знайти шлях від відправника до одержувача, що вимагає найменшу кількість проміжних вузлів. В цьому простому алгоритмі, кожна ланка має певну вартість і протокол маршрутизації вибирає шлях, який мінімізує загальну вартість для поширення даних від джерела до місця призначення[16].

Основна ідея цієї метрики полягає в тому, що використання найкоротшого шляху призведе до зменшення часу передачі і низьких витрат ресурсів, тому що буде задіяне якнайменше передавальних вузлів. Однак,

оскільки цей підхід не враховує фактичної доступності ресурсів на кожному вузлі, результуючий маршрут, ймовірно, буде неоптимальним з точки зору затримки енергії та запобігання заторів. [16]

В багатьох безпроводових сенсорних мережах може знадобитися використання вузлів з різними апаратними можливостями, наприклад, потужністю, ємністю джерела енергії, пропускну здатністю, відстанню передачі. Тому в процесі маршрутизації необхідно враховувати різноманітність елементів мережі. Проте, метрика мінімального хопу використовується в багатьох протоколах маршрутизації, завдяки своїй простоті і практичності.

- **Енергія**

Без сумніву, ключовий аспект маршрутизації в БСМ – це енергоефективність. Як правило, серед елементів вузла, найбільше енергії споживає приймач, тому головний спосіб зменшити середнє енергоспоживання вузла полягає в мінімізації активності в радіоканалі (передача і прийом даних, прослуховування каналу).

З огляду на те, що кожен вузол є не тільки джерелом або одержувачем інформації, а й у разі необхідності проміжним ретранслятором пакетів, оптимізація обсягів і напрямів потоку трафіку є важливим завданням рівня маршрутизації. Існує не один унікальний енергетичний показник, який може бути застосований до задачі маршрутизації [16].

Існують різні інтерпретації енергоефективності, проте, до однієї із ключових можна віднести ідею мінімальної витрати енергії на пакет. Це найпростіша концепція енергетичної ефективності, тобто, її мета полягає в тому, щоб мінімізувати загальну кількість енергії, що витрачається для поширення одного пакету від джерела до місця призначення. Повна енергія – сумарна енергія, що споживається кожним вузлом уздовж маршруту для прийому і передачі пакета. [16].

На рис. 3.3 зображено приклад невеликої сенсорної мережі, коли вузол джерела хоче передати пакет до вузла призначення з використанням маршруту, який мінімізує накладені витрати енергії пакета. Число на кожній лінії зв'язку вказує на вартість пакета, що поширюється за цим напрямком.

Як наслідок, цей пакет буде передаватись через вузли A – D – G із загальною вартістю 5. Можна зауважити, що цей маршрут відрізняється від варіанту з використанням мінімального хопу маршруту (B – G).

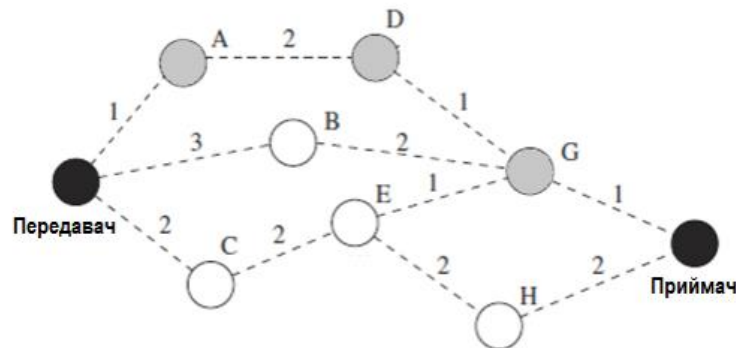


Рис. 3.3 Вибір маршруту за умови мінімальної витрати енергії на пакет

Концепція максимального часу поділу мережі полягає в поділі всієї мережі на кілька менших підмереж. Це відбувається, коли останній вузол, який пов'язує дві частини мережі, виходить з ладу. Як наслідок, підмережі можуть бути недоступні, а робота сенсорних вузлів в цій під мережі є марною[16].

Таким чином, завдання полягає в тому, щоб зменшити споживання енергії на вузлах, які мають вирішальне значення для підтримки мережі, в якій кожен сенсорний вузол, може бути, досягнутий за допомогою щонайменше одного маршруту. Наприклад, мінімальний набір вузлів, видалення яких призведе до поділу мережі, можна знайти, використовуючи теорему про максимальний потік і мінімальний розріз.

Після того, як протокол маршрутизації визначив ці вирішальні вузли, можна спробувати збалансувати навантаження в мережі. На рис. 3.4 вузол D є вирішальним вузлом. Наприклад, якщо батарея цього вузла вичерпалася, вузли F, I, J стануть недоступними для будь-якого іншого вузла в мережі.

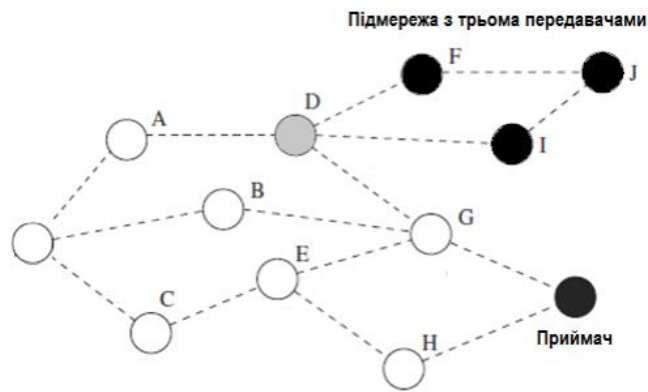


Рис. 3.4 Вибір маршруту за критерієм максимального часу поділу мережі

У випадку використання концепції мінімальної різниці в рівнях потужності вузлів, всі вузли в мережі вважаються однаково важливими і завдання полягає в тому, щоб розподілити споживання енергії на всіх вузлах мережі якомога більш рівномірно[16].

Мета такого підходу може полягати в тому, щоб максимізувати термін служби всієї мережі, наприклад, замість того, щоб деякі вузли виснажувались раніше, ніж інші, що тим самим постійно б зменшувало розмір мережі, можна прагнути до збереження більшої кількості робочих вузлів, так довго, наскільки це можливо.

В ідеальному випадку, всі вузли мають вимкнутись одночасно, але подібний сценарій є практично нездійсненним. Використання способу із визначенням середньої енергоємності. В цьому підході, ключовим моментом є не енергетична вартість поширення пакетів, а енергоємність (наприклад, поточний рівень заряду батареї) вузлів[16].

Протокол маршрутизації, який використовує цю метрику, прокладає маршрут, який має найбільшу сумарну енергоємність вузлів, від джерела до одержувача. На рисунку 3.5, цифри під вузлами вказують на енергоємність вузлів. У цьому прикладі, протокол маршрутизації може вибрати шлях С – Е – Н, який має найбільшу сумарну потужність.

Протокол маршрутизації, який використовує цю метрику, повинен бути ретельно розроблений, щоб уникнути небезпеки вибору надмірно довгих

маршрутів для того, щоб максимізувати загальну пропускну здатність енергії. Зміна цього показника полягає в максимізації середньої енергоємності, що дозволяє уникнути цієї проблеми.

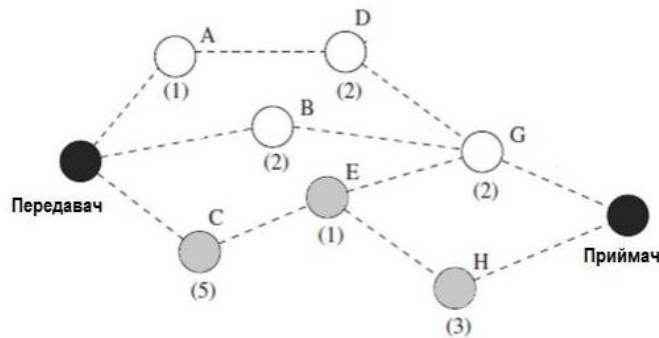


Рис. 3.5 Вибір маршруту за середньою енергоємністю

У принципі найбільшого мінімального обсягу енергії, замість максимізації енергетичних потужностей на всьому шляху, основна мета маршрутизації полягає у виборі шляху з найбільшою мінімальною енергоємністю. Цей метод також допомагає маршрутам з великими енергетичними запасами, але і захищає вузли малої потужності від передчасного закінчення терміну їх дії. На рис. 3.6, протокол, який використовує цей показник, вибирає маршрут В – G, так як мінімальна ємність по цьому маршруту становить 2, що більше, ніж мінімальна потужність вузлів у всіх інших можливих маршрутах[16].

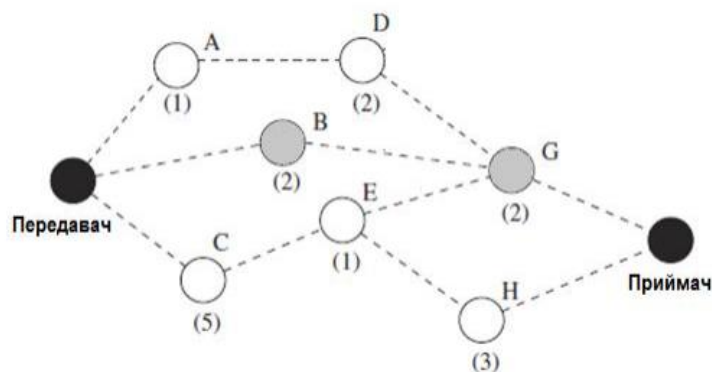


Рис. 3.6 Вибір маршруту за найбільшим мінімальним обсягом енергії

Ці різні формулювання способів підвищення економії енергії призводять до дуже різних реалізацій протоколів, що відрізняються за своїми результатами і витратами. Наприклад, щоб визначити мінімальну енергію,

яка споживається для кожного пакета, вартість для прийому і передачі пакета може залежати від розміру пакету.

З іншого боку, енергетична потужності змінюються з плином часу, а отже, протокол маршрутизації з використанням метрики на основі ємності повинен періодично оновлювати ці дані

. На сьогоднішній день універсального визначення поняття енергоефективності немає – воно залежить від конкретної предметної області, тим не менш часто використовується наступний підхід: енергоефективність визначається тим, наскільки раціонально в деякій системі використовується надається їй ззовні енергія.

- ***Надійність***

Передбачається, що умови експлуатації БСМ можуть бути жорсткими, тому існуватиме вірогідність виходу з ладу вузлів і порушення з'єднань між 30 ними. Отже, для забезпечення високої надійності всієї системи в цілому, метод маршрутизації повинен автоматично формувати нові маршрути в обхід виключеним вузлам, витрачаючи на переконфігурацію маршруту якомога менші ресурси.

В багатьох системах будуть вибиратися маршрути, які залишаться стабільними на довгий проміжок часу. Для цього вузол може змінити і оцінити якість каналу у порівнянні з його сусідами і потім вибрати сусіда для наступного хопу, що збільшує ймовірність успішної передачі[16].

Протокол маршрутизації може ідентифікувати кілька шляхів для мінімального хопу і потім вибрати той, який гарантує кращу якість серед усіх маршрутів. У мережах з мобільними вузлами, протокол маршрутизації може також використовувати метрику стійкого зв'язку, яка вимірює, наскільки канал буде доступним в майбутньому. Ці показники можуть бути використані, щоб виконувати вибір серед більш надійних маршрутів і стаціонарних вузлів.

- ***Якість обслуговування***

Термін якість обслуговування (QoS) відноситься до певних показників ефективності в мережах, зокрема для виявлення затримки при передачі

пакету, пропускної здатності рівня і коефіцієнта помилок. Вибір метрики QoS залежить від типу програми.

Сенсорні мережі, що здійснюють виявлення та супроводження цілей вимагають низьких затримок при передачі термінових сенсорних даних, в той час як мережі з інтенсивним обміном даними (наприклад, мультимедійні сенсорні мережі) вимагають високої пропускної здатності. Коли метод маршрутизації обирає маршрут передачі даних, оптимальний з точки зору деяких показників якості обслуговування, то він покладається в своїй оцінці на набір параметрів стану вузлів і каналів зв'язку.

Ці параметри відображають поточну картину розподілу трафіку в мережі, тому їх аналіз дозволяє вибирати відповідні маршрути передачі даних, наприклад, в обхід заторів трафіку в мережі або з метою мінімізації затримки передачі пакету.

Ресурсом мережі є буквально будь-який ресурс, котрий споживається під час виконання завдань пошуку відповідного маршруту, встановлення і підтримки сесій передачі даних, підтримки таблиць маршрутизації. Нижче наведено класифікацію мережевих ресурсів.

- *Ресурси мережі, необхідні для забезпечення якості маршрутизації:*

- процесорний час. Хоча з кожним роком мобільні пристрої мають все більш потужні процесори, вони все ще обмежені в своїх обчислювальних можливостях і не можуть конкурувати з традиційними настільними комп'ютерами. Однак, це найменш критичний фактор, оскільки методи маршрутизації зазвичай не створюють велике навантаження на процесор;

- обсяг пакетного буфера вузла. Неминучий факт, що під час роботи мережі кілька вузлів одночасно передають пакети даних або маршрут до будь-якого вузла ще не був виявлений, тому необхідно тимчасово поміщати пакети в буфер. Більш того, коли буфери стають цілком заповнені, всі вхідні пакети будуть відкинуті, що веде до підвищення частки втрачених пакетів;

- пропускна здатність каналу зв'язку. Зазвичай вимірюється в бітах на секунду і свідчить безпосередньо про швидкість передачі даних і затримку. Однак, оскільки безліч вузлів одночасно використовують канал зв'язку, нам

необхідно якимось чином виразити частку пропускну́ї здатності, яку отримує кожен з вузлів.

Спосіб вираження частки залежить від методу доступу до середовища передачі. При змагальному методі доступу, жодному вузлу не гарантується отримання доступу до каналу в необхідний йому момент часу, оскільки одночасно з ним інші вузли також можуть почати передачу даних. Тому, доступ до середовища передачі надається лише з певною ймовірністю. Проте, більшість методів маршрутизації базуються на тому, що доступ до середовища передачі надається за змагальною схемою[16].

Для оцінки ефективності роботи методів маршрутизації з точки зору якості обслуговування використовуються наступні показники:

- середня затримка передачі пакету. Визначається як час, що минув з моменту відправки пакета вузлом до моменту прийому його вузлом призначення, для всієї мережі в цілому за весь час роботи;

- частка втрачених пакетів для всієї мережі. Вимірюється у відсотках, як частка втрачених пакетів від загальної кількості відправлених пакетів за весь час роботи мережі;

- частка прийнятих сесій передачі даних. Визначається у відсотках. Якщо метод маршрутизації не зміг знайти потрібний маршрут для передачі даних з урахуванням якості обслуговування, то він може відмовити у встановленні сесії. Цей показник відображає, який відсоток сесій був успішно прийнятий. Його значення показує ефективність методу маршрутизації і якість зв'язку. Очевидно, що даний показник неможливо застосувати для методів, які прагнуть поліпшити параметри якості обслуговування для всієї мережі в цілому;

- частка успішних сесій. Визначається у відсотках. Відображає, який відсоток додатків був успішно опрацьовано після того, як метод маршрутизації встановив сесію передачі даних. Даний показник з точки зору кінцевого користувача може бути важливіше, ніж частка прийнятих сесій передачі даних;

– загальна пропускна здатність мережі. Обсяг даних, переданих всією мережею за одиницю часу;

– пропускна спроможність вузла. Середня пропускна здатність, досягнута цим вузлом мережі за час роботи. Метод маршрутизації повинен визначати поточну пропускну здатність каналу зв'язку і оцінювати його придатність за цим параметром;

– затримка виявлення маршруту. Середній час, що проходить між моментом, коли вузол запитує встановлення сесії і моментом, коли протокол здійснює цю сесію;

– енергоефективність протоколу маршрутизації. Визначаються як заряд батареї живлення, витрачений на обробку та передачу одного пакета;

– нормалізована навантаження маршрутизації. Визначає відсоток керуючих пакетів маршрутизації серед всіх пакетів даних. Цей показник дає можливість оцінити накладні витрати на маршрутизацію (передачу контрольних повідомлень);

– час відновлення маршруту. Цей показник вказує час, який проходить від моменту збою або виходу одного з проміжних вузлів на маршруті до моменту, коли протокол маршрутизації встановить обхідний маршрут для даної сесії. Зазвичай характеризує стійкість протоколу маршрутизації до збоїв мережі і можливість балансувати навантаження.

При розробці БСМ необхідно знайти баланс між впровадженням якості обслуговування конкретних програм і енергоефективністю мережі в цілому. При проектуванні методу маршрутизації для безпроводової сенсорної мережі, розробнику доводиться часто вибирати між різними можливостями в залежності від мети і призначення мережі. Наприклад, важливим є вибір між пропускнуою здатністю мережі та затримкою передачі пакету [16].

У БСМ ці чинники є взаємовиключними. Якщо знизити вимоги до затримки передачі пакету, то можливо збільшити загальний обсяг трафіку, що передається мережею, шляхом збільшення розміру пакетів і резервування каналів зв'язку на довший час. Крім того, можна використовувати наступний алгоритм маршрутизації, якщо програма не накладає взагалі ніяких обмежень

на затримку передачі пакету. Джерело може розділити пакети однієї сесії і відправити їх різним сусіднім вузлам.

Ці вузли, при потраплянні в зону прямої взаємодії з вузлом-отримувачем, направляють йому збережені пакети. За рахунок поділу маршрутів досягається велика щільність передачі даних, але при цьому пакети можуть приходити з абсолютно різною затримкою. В якості іншої стратегії можна спробувати знизити затримку передачі, якщо направити пакети відразу по декількох маршрутах одночасно. Але такий метод знижує ефективність використання пропускної здатності мережі в цілому, через відправки кількох копій одного пакета [16].

Очевидно, що такий метод також призводить до збільшення енерговитрат на передачу повідомлення. Отже, з точки зору проектування безпроводової сенсорної, метою оптимізації процесу маршрутизації є задоволення вимог якомога більшої кількості користувачів, тобто поліпшення показників якості обслуговування для всієї мережі в цілому, або для окремих сесій передачі даних.

3.3. Класифікація протоколів маршрутизації в БСМ

Для визначення маршруту передачі інформації в БСМ від кінцевого вузла до вузла-координатора, а також між кінцевими вузлами, використовуються спеціальні протоколи маршрутизації.

Протоколи маршрутизації в БСМ вирішують наступні завдання:

1. Самоорганізація вузлів мережі (самоконфігурування, самовідновлення та оптимізація).
2. Маршрутизація пакетів даних і адресація вузлів.
3. Мінімізація енергоспоживання вузлів мережі і збільшення загального часу життя всієї мережі.
4. Збір і агрегація даних.
5. Регулювання швидкості передачі і обробки даних в мережі.
6. Максимізація зони покриття мережі.

7. Забезпечення заданої якості обслуговування (QoS).

8. Захист від несанкціонованого доступу.

При виборі шляху передачі інформації в мережі в якості метрик в них можуть бути використані наступні параметри:

- довжина шляху (кількість ділянок переприйому інформації);
- надійність;
- затримка;
- пропускна здатність;
- завантаження;
- вартість передачі трафіку і ін.

Протоколи маршрутизації БСМ відповідають за підтримку маршрутів в мережі і повинні гарантувати надійний зв'язок навіть в жорстких несприятливих умовах. Багато протоколи маршрутизації, управління електроживленням, поширення даних, були спеціально розроблені для БСМ, де енергозбереження є суттєвою проблемою, на вирішення якої спрямовано протокол. Інші ж були розроблені для загального застосування в бездротових мережах, але знайшли своє застосування і в БСМ [16].



Рис. 3.7 Класифікація протоколів маршрутизації БСС

Існує велика кількість протоколів маршрутизації для БСС, класифікувати їх можна за різними ознаками (рис. 3.7). Залежно від використовуваного режиму роботи мережі, що обумовлює необхідність

передачі інформації від вузлів, всі протоколи маршрутизації можна розділити на проактивні (всі шляхи визначаються заздалегідь, до того як вони будуть потрібні), реактивні (шляху визначаються на вимогу) та гібридні (комбінація перших двох).

Протоколи, що враховують структури мережі, діляться на:

1) протоколи однорівневої (плоскої) маршрутизації - всі вузли БСС мають однакову функціональність, приклади: SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation), Direct Diffusion, Rumor Routing;

2) протоколи ієрархічної маршрутизації - вузли мережі виконують різні функції, вони можуть бути і фізично різними, приклади: LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), PEGASIS (Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems), TEEN і APTEEN (Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols), SOP (Self-Organization Protocol);

3) протоколи маршрутизації на основі інформація про місцезнаходження вузла, приклади протоколів: GAF (Geographic Adaptive Fidelity), GEAR (Geographic and Energy Aware Routing).

Робота протоколу маршрутизації може ґрунтуватися на різних принципах:

1) протоколи маршрутизації з багатьма маршрутами (multipath routing) - використовуються кілька маршрутів від джерела до точки призначення, що підвищує надійність з'єднання, але збільшує накладні витрати і енерговитрати;

2) протоколи маршрутизації «на замовлення» (query-based) - вузол посилає запит на дані в мережу і інший вузол, який має запитувані дані, відповідає на запит;

3) протоколи маршрутизації, засновані на «переговорах» (negotiation routing) між вузлами;

4) протоколи, які враховують якість обслуговування (QoS-based), що дозволяє забезпечити певний рівень послуг в мережі.

У протоколах, спрямованих на агрегацію даних, проміжні вузли, що розташовуються між джерелами інформації та базовою станцією (БС), можуть здійснювати агрегацію даних і посылати БС вже зведені дані. Цей процес дозволяє сенсорним вузлів економити енергію.

Всі протоколи маршрутизації також можна розділити на два види - в одних ініціатором з'єднання є джерело інформації, а в інших - одержувач.

Класифікація протоколів маршрутизації БСМ на основі типів вузлів показана на рис. 3.8.

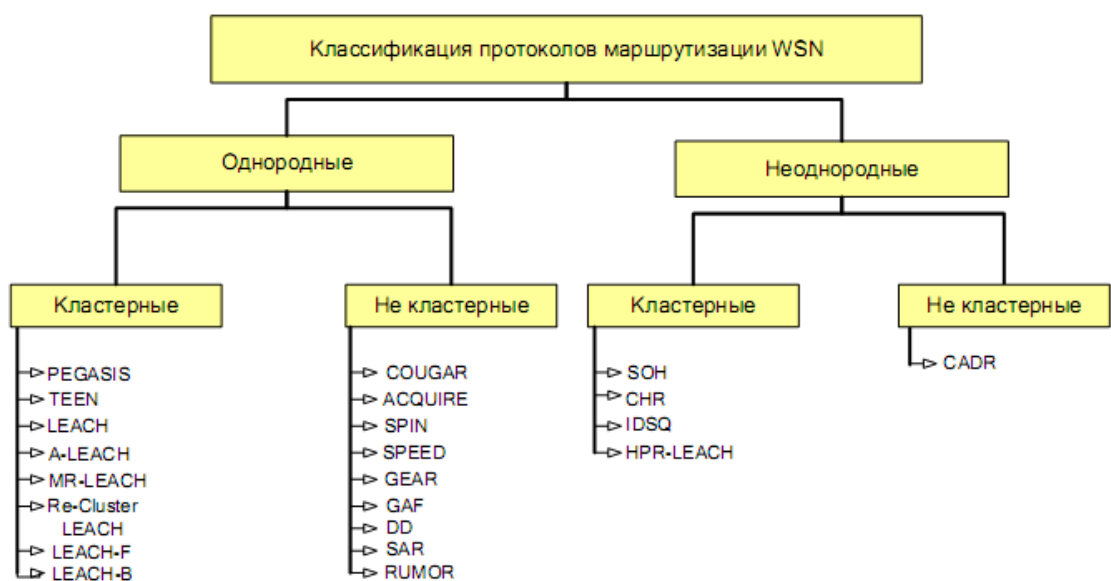


Рис. 3.8 Класифікація протоколів маршрутизації БСМ

В останні роки активно впроваджуються бездротові децентралізовані, що самоорганізуються мережі, що складаються з мобільних пристроїв MANET (Mobile Ad hoc NETwork). Кожен пристрій такої мережі може незалежно пересуватися в будь-яких напрямках, і, як наслідок, часто розривати і встановлювати з'єднання с сусідами.

Мережі, що самоорганізуються, MANET мають наступні переваги над бездротовими мережами традиційної архітектури:

- можливість передачі даних на великі відстані без збільшення потужності передавача;

- стійкість до змін в інфраструктурі мережі;
- можливість швидкої реконфігурації в умовах несприятливої завадової обстановки;
- простота і висока швидкість розгортання мережі.

Однак мобільність вузлів веде до додаткового підвищення динамічності топології мережі і, отже, до можливості обриву зв'язку через перешкоди або включення/вимикання вузла додається ймовірність його переміщення [16].

Для маршрутизації на мережевому рівні в MANET використовуються спеціальні протоколи, орієнтовані на динамічні мережі (наприклад, підтримувати маршрут, якщо поїхав проміжний вузол, і маршрут зруйнувався):

1) реактивні - знаходять маршрут в тому випадку, коли потрібно передати пакет і для нього немає відомого шляху і намагаються змінити цей шлях, якщо сталася помилка, приклади:

спеціалізований протокол вектора відстані за запитом AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector), протокол динамічної маршрутизації джерела DSR (Dynamic Source Routing) і ін.;

2) проактивні (превентивні) - знаходять маршрут заздалегідь для всіх можливих пар джерело-приймач і періодично оновлюють інформацію про маршрутизації для підтримки шляхів, приклади: протокол оптимізованої маршрутизації стану з'єднання OLSR (Optimized Link-State Routing) і ін.

Перевагу одному або іншому виду протоколів може бути віддано тільки з урахуванням обстановки і швидкостей руху абонентів. Наприклад, для автомобільної версії MANET має сенс використовувати реактивні протоколи.

Мережі MANET включають Ad hoc мережі для транспортних засобів VANET (Vehicular Ad hoc Network), в яких кожен бере участь автомобіль перетворюється в бездротовий маршрутизатор або вузол, що дозволяє автомобілям підключатися один до одного на відстані і створювати мобільну

мережу. Стандарт для мереж VANET розробляється в рамках робочої групи IEEE 802.11p. Технічні засоби стандарту IEEE 802.11p повинні функціонувати на швидкості до 200 км/год і на відстані до 1 км. Фізичний рівень і MAC підрівень базуються на стандарті IEEE 802.11a. Частотний діапазон для США включає спектр від 5,859 до 5,925 ГГц, для Європи рекомендується використання двох піддіапазонів шириною по 10 МГц кожен: 5,865 - 5,875 ГГц і 5,885 - 5,895 ГГц.

Можливості по взаємодії транспортних засобів між собою і з мережею зв'язку загального користування в найближчі роки можуть привести до утворення нового, дуже масштабного сегмента Інтернету речей. Уже зараз сучасний автомобіль інтегрує в себе GPS / GLONASS приймач, різні сенсори, бортовий комп'ютер. Однак завдання, яке ставиться при створенні VANET, дещо інше. Архітектура мережі VANET передбачає взаємодію автомобіля, як з іншими автомобілями, так і з придорожньої мережею. При цьому виділяється три групи послуг:

1. Забезпечення безпеки - допомога водію (навігація, запобігання зіткнень і зміна смуг), інформування (про обмеження швидкості або про зону ремонтних робіт), попередження (післяаварійні, про перешкоди або стані дороги).

2. Підвищення ефективності управління автомобільним трафіком - скорочення тривалості поїздки, споживання палива.

3. Підвищення рівня комфорту пасажирів і водіїв - інформація про місцезнаходження автомобіля, про поточний трафік на дорогах, про погоду, можливість здійснення P2P з'єднань, в тому числі з власним будинком через придорожню мережу, а також інформація від придорожньої мережі про готелі, станціях заправки, меню в ресторанах і так далі.

3.4. Протокол AODV

AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) - протокол динамічної маршрутизації для мобільних ad-hoc мереж. Протокол AODV, у порівнянні з

DSR та DSDV, краще себе показує в мережах з мобільними вузлами та більше ніж на 20% більш енергоефективний [15].

Вузли також здійснюють контроль лінії зв'язку активного маршруту. Якщо зв'язок обривається, розсилається повідомлення про помилку RERR, для повідомлення інших вузлів про обрив зв'язку. Це повідомлення говорить про те, що передавання даних в цьому напрямку неможливе, і необхідний новий маршрут. [15]

Рис. 3.9 Встановлення маршруту

AODV - це протокол маршрутизації, відповідно в ньому присутня маршрутна таблиця. Така таблиця створюється і для тимчасових коротких маршрутів.

У таблиці присутні наступні поля:

- адреса призначення;
- порядковий номер одержувача;
- позначка про чинне порядковому номері;
- помітки про стан маршруту (діючий, неробочий, відновлюваний, відновлений);
- кількість ретрансляції (скільки було потрібно ретрансляцій для досягнення призначення);
- тривалість маршруту. [15]

Протокол AODV розроблений для мобільних ad-hoc мереж розміром від десяти до тисячі вузлів, може працювати з низькими, середніми і високими швидкостями передавання даних, а також з різними рівнями трафіку даних. Протокол AODV працює на прикладному рівні, використовуючи в якості транспортного протоколу UDP. Отримання вузлом відповіді RREP без надсилання відповідного запиту є нормальною ситуацією і отримав таку відповідь вузол повинен його обробити.

Переваги даного протоколу полягають в тому, що не створюється додатковий трафік при трансляції даних за вже встановленим маршрутами, також не потрібен великий обсяг пам'яті. До недоліків протоколу можна віднести той факт, що для створення маршруту на початку витрачається більше часу. [15]

3.5. Протокол LEACH

LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy). Протокол із контролем топології та кластеризацією з низьким споживанням[17]. Підходить для мереж із ієрархічною структурою. Протокол є таким, що самоорганізується і адаптується під різні стани мережі для розподілу енергії по мережі. Вузли покладаються однорідними та мають обмежений запас

енергії. У мережі є базова станція, і всі вузли знають про її фізичне місцезнаходження. Вузли динамічно поєднуються в кластери, всередині яких відбувається вибір головного вузла (clusterhead), щоб запобігти надмірному споживанню енергії. Протокол включає агрегування даних і скорочення розсіювання енергії в 8разів[17].

Робота LEACH поділена на раунди. Кожен із таких раундів стоїть із фази налаштування та стаціонарної фази. У фазі налаштування проводиться вибір головних вузлів та об'єднання їх із сусідніми пристроями. Рішення про вибір приймається незалежно всіма вузлами в один і той же час. Рішення про вибір головного вузла приймається на випадковій основі за допомогою наступного алгоритму[17].

Переваги алгоритму LEACH полягають у наступному:

- будь-який сенсорний вузол, який був головним вузлом у поточному раунді, не може бути обраний як головний вузол знову, так що для кожного вузла навантаження у вигляді ролі головного розподіляється більш менш рівномірно;
- використовуваний метод TDMA та розклад передачі дозволяють уникнути непотрібних колізій;
- члени кластера можуть перебувати в сплячому режимі, щоб уникнути зайвого споживання енергії;
- перший вихід з ладу вузла відбувається у вісім разів пізніше, ніж при використанні прямої передачі та статичних кластерних протоколів. [17]

Тим не менш, існують і кілька недоліків в алгоритмі LEACH:

- він виконує лише пряму передачу даних усередині кластера і безпосередньо з головного вузла БС. Це не завжди можливо у зв'язку з великим розміром мережі. Крім того, при великій відстані між головними вузлами та БС споживається багато енергії;

- незважаючи на ротацію головних вузлів СН у кожному раунді, щоб досягти балансування навантаження, LEACH не може забезпечити реальне балансування у разі сенсорних вузлів з різною кількістю початкової енергії, оскільки головні вузли обираються у термінах ймовірностей без енергетичних міркувань;
- оскільки вибори головного вузла виконуються в термінах ймовірностей, важко рівномірно розподілити головні вузли всієї мережі. Таким чином, існують обрані СНs, зосереджені в одній частині мережі, і деякі вузли, околицях яких немає СНs [17].

Висновки

У даному розділі було розглянуто маршрутизацію у безпроводових сенсорних мережах. Ефективність функціонування безпроводових сенсорних мереж багато в чому визначається вибором протоколів маршрутизації.

При проектуванні БСМ необхідно прагнути до зменшення і вирівнювання навантаження вузлів, що досягається завдяки протоколу маршрутизації.

Виділяють дві основні задачі маршрутизації:

- завдання пошуку оптимальних маршрутів;
- завдання маршрутизації із забезпеченням максимальної тривалості життя мережі. [15]

В залежності від призначення, розмірів та технічних особливостей, безпроводові сенсорні мережі широко відрізняються у своїх обмеженнях і характеристиках, що має братися до уваги при розробці протоколу маршрутизації. Для охарактеризування можливостей протоколів маршрутизації, з урахуванням споживання ресурсів, необхідної продуктивності та потужності обладнання, використовують наступні основні показники протоколів маршрутизації:

- кількість проміжних вузлів;
- енергоефективність;

- надійність;
- необхідна якість обслуговування.

Детально проаналізовані два протоколи, та було вибрано один кращий - AODV.

РОЗДІЛ 4

ЗАСТОСУВАННЯ РОЗУМНИХ МІСТ

У розумному місті можна очікувати плавних, ефективних та розумних муніципальних операцій, проте необхідна спільна взаємодія між приватними особами, підприємствами, організаціями та агенціями, а також комунікація між реальним та цифровим містами.

Будівництво розумного міста може за короткий проміжок часу сприяти процвітанню економіці, стимулюючи торгівлю цифрових міст. Можна надати численні можливості працевлаштування, оскільки розумне місто вимагає інвестицій у кілька основних інфраструктур, таких як розумні електронні мережі, розумна архітектура та розумний транспорт. Окрім того, оскільки для міських жителів можна надавати більше видів послуг, розумне місто може сприяти пришвидшенню розвитку міста та підвищенню соціального добробуту.

Нарешті, інфраструктура розумного міста пропонує можливості для промислових інновацій, трансформації та модернізації в майбутньому. Деякі приклади застосування розумного міста описані нижче.

4.1. Розумний муніципальний нагляд

Смартфони можна використовувати як давачі для розумного муніципального нагляду. Що стосується міста Ухань, статистичні дані показують, що існує два мільйони об'єктів або предметів, понад 9,7 мільйона людей та понад 0,6 мільйона подій, які всі пов'язані з управлінням містом.



Рис. 4.1.Муніципальний нагляд

Усіма ними потрібно ефективно керувати в рамках розумного міста, що складається з інфраструктури, людей та подій за допомогою збору даних та інтелектуального аналізу.

4.2. Розумне транспортування

Поточне управління дорожнім рухом обмежене через декілька деяких обмежень. Наприклад, водії вибирають власні маршрути, виходячи зі своїх особистих знань та досвіду, що часто призводить до заторів та неефективного використання певних міських дорожніх ресурсів.

Завдяки миттєвій інформації про дорожній рух, вуличні умови, температуру та дорожньо-транспортні пригоди, яку зафіксували давачі, розумне місто може забезпечити спілкування в реальному часі між людьми, транспортними засобами, вуличними умовами та навколишнім середовищем з метою вибору маршруту. Розумне транспортування також може забезпечити динамічні та оптимізовані транспортні плани та маршрути руху за допомогою хмарних обчислень.



Рис. 4.2 Розумне транспортування

Як інтеграція апаратного та програмного обладнання, яке містить джерело живлення, комп'ютер, блок збору даних, кабель та пристрої бездротового зв'язку. IRSU можуть бути в різних формах залежно від їхнього різноманітного розташування. Наприклад, це можуть бути зовнішні монолітні шафи для машин на перехрестях доріг, електронні шини або змінна інформаційна дошка на зупинці [\[18\]](#).

Існує безліч видів пристроїв, які забезпечують роботу технології розумних доріг: датчики швидкості, датчики звуку, розумні фари, системи моніторингу умов/погоди, а також цифрового маркування. Коли ці пристрої збирають і аналізують дані практично в реальному часі, міста можуть багато чого отримати:

- **Менш людні вулиці.** Технологія розумних доріг для відстеження транспортних засобів і зміна дальнього світла, коли рух менше, або не їде жодне авто, що допомагає в запобіганні пробок.
- **Підвищена безпека дорожнього руху як для автомобілів, так і для пішоходів.** Рішення для моніторингу дорожнього руху з використанням систем комп'ютерного зору можуть виявляти транспортні засоби, пішоходів і велосипедистів, щоб допомогти їм дотримуватися правил

безпеки. У разі аварії або злочину на вулиці інтелектуальні пристрої можуть негайно попередити відповідні служби.

- **Спрощена парковка і оплата дорожніх зборів.** Електронний збір плати за проїзд знижує затори за рахунок розпізнавання номерних знаків і відстеження транспортних засобів, автоматично стягуючи плату за проїзд платними шосе або через міст – і все це без зупинки або уповільнення руху.

Завдяки передачі даних в хмару для подальшого аналізу міста можуть постійно покращувати керування, ремонтні роботи на дорогах і якість навколишнього середовища, наприклад [\[18\]](#).

- **Ідентифікація проблемних областей.** Фахівці можуть допомогти виявити перехрестя або інші місця, в яких часто доходить або майже доходить до нещасних випадків за участю транспортних засобів або пішоходів. Це дозволяє містам визначати, чи допоможе знак зупинки, перехід або світлофор.
- **Кращі умови на тротуарах.** З часом вулиці схильні до ерозії або зносу. Завдяки моніторингу стану доріг міста можуть оцінити стан тротуарів та вживати відповідних заходів.
- **Менше забруднень.** Інтелектуальна інфраструктура сприяє скороченню викидів вуглекислого газу від повсякденного транспорту за рахунок оптимізації дорожнього руху і запобіганню холостого ходу двигунів. Міста також можуть допомогти зменшити забруднення, розуміючи, де найкраще розмістити зарядні станції для електромобілів [\[18\]](#).

4.3. Інтелектуальний моніторинг навколишнього середовища

У Ухані розроблено мобільну систему моніторингу навколишнього середовища, яка базується на декількох давачах для більш ефективного моніторингу міського середовища. Це розглядається як доповнення до

існуючих стаціонарних станцій моніторингу навколишнього середовища (наприклад, гідрологічних, атмосферних станцій та станцій якості води). Такі мобільні системи можуть збирати дані і передавати їх на центральну станцію за допомогою дротових або бездротових мереж для застосування автоматичного онлайн-моніторингу джерел забруднюючих речовин та якості навколишнього середовища. Загалом, мобільна система моніторингу навколишнього середовища буде здійснювати збір, інтеграцію та аналіз даних, а також автоматизацію, розвідку та візуалізацію обробки даних.

Його особливості описані нижче:

1. Концентрації забруднювачів повітря, таких як PM_{2,5}, концентрації забруднювачів води, інтенсивність шуму та інші параметри навколишнього середовища, можна отримати за допомогою давачів навколишнього середовища встановлених на транспортних засобах.
2. Як результат обробки даних про навколишнє середовище, результати можуть бути наведені в графіку для подальшого використання і подальшого аналізу та дедукції, що допомагає всебічно зрозуміти стан навколишнього середовища.
3. Цифрові вимірювані зображення (DMI), генеровані мобільними давачами, можуть бути використані для швидких і безконтактних вимірювань розташування та визначення розмірів об'єктів, що цікавлять, та полегшення представлення та аналізу екологічних даних.
4. На основі інтегрованого позиціонування глобальної системи позиціонування (GPS) можна точно визначити місце розташування екологічної інформації для подальшого екологічного аналізу.
5. Зібрані дані можуть передаватися бездротовими мережами або модулями супутникового зв'язку. Рисунок 4.3 - це інтерфейс системи моніторингу навколишнього середовища на транспортному засобі, яка несе різні давачі навколишнього середовища та відображає цифрові вимірювані зображення та цифрові карти для навігації та географічного посилення.

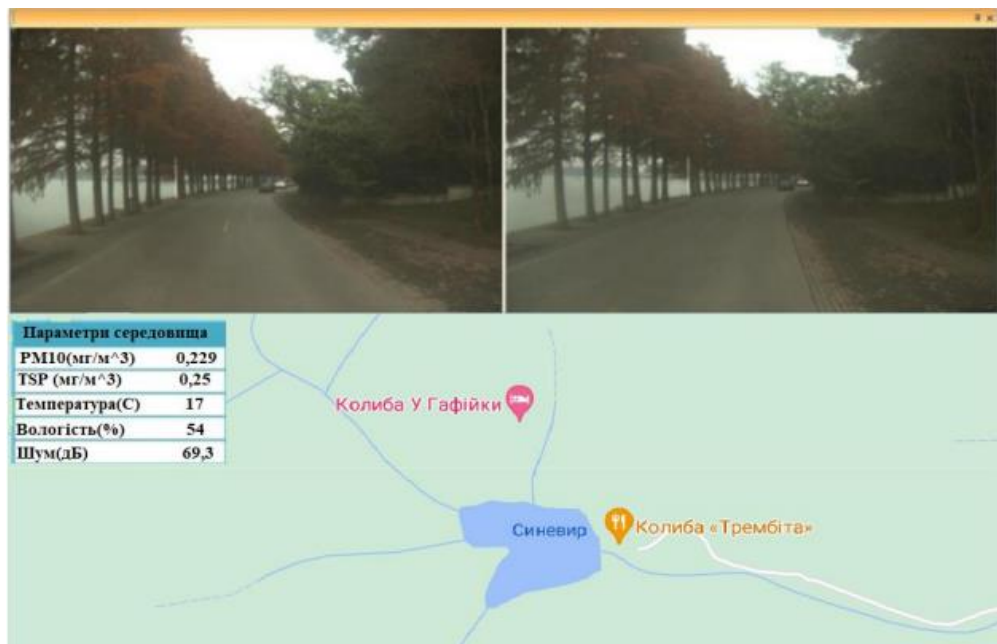


Рис. 4.3 Інтерфейс мобільної системи моніторингу навколишнього середовища, інтегрованої з цифровими вимірюваними зображеннями, цифровими картами та давачами навколишнього середовища

За допомогою цифрових зображень та карт встановлюється відповідність між параметрами навколишнього середовища та їх місцезнаходженням.

На рисунку 4.3 TSP означає загальну суспендовану частинку.

4.4. Розумний туризм

Інтеграція цифрових вимірюваних зображень та електронних карт дозволяє надавати просторову, економічну та соціальну інформацію, інформацію про культуру, і атрибути об'єктів на одній платформі. Це часто можна налаштувати для потреб різних користувачів. На рисунку 4.2 показаний проект Smart Jiuzhaigou, в якому всі сервісні функції побудовані для задоволення потреб туристів. Інтеграція мультисенсорів, таких як RFID на мальовничих місцях, забезпечує своєчасне відображення динамічної інформації на світлодіодних екранах на всіх перехрестях доріг. Детальний робочий процес задоволення потреб туристів проілюстрований на рисунку 4.4.

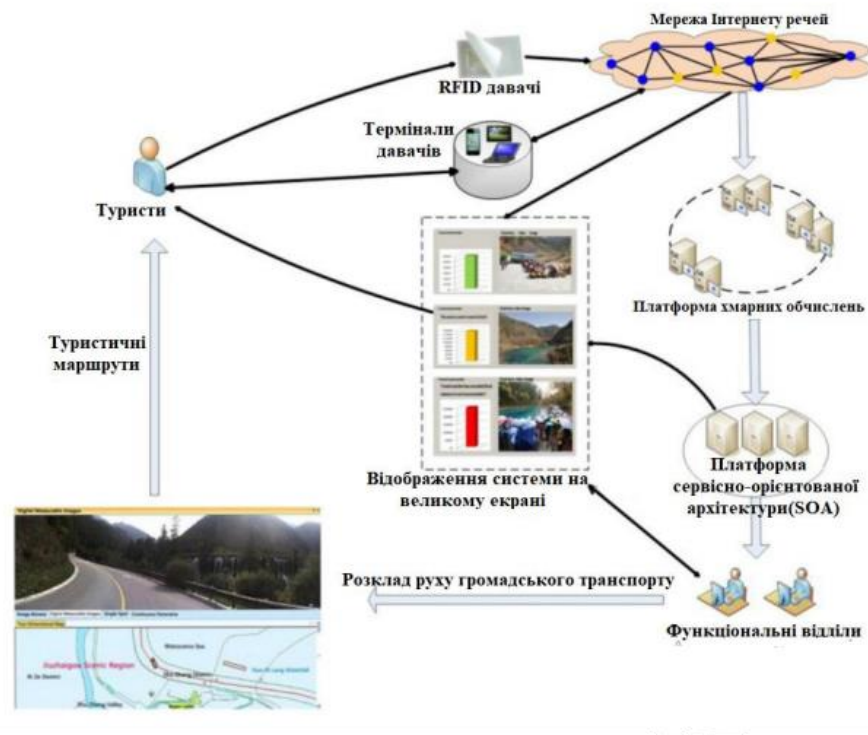


Рис. 4.4 - Структура розумного туризму

Після потрапляння в туристичне місце дані туриста разом із номером квитка RFID надсилаються на платформу хмарних обчислень для обробки та аналізу даних через Інтернет речей. Потім платформа сервісноорієнтованої архітектури (SOA) перетворює інформацію на різні види потоків послуг. З одного боку, оперативний відділ отримає в реальному часі загальну кількість поточних туристів і вирішить, чи слід допускати нового туриста в це саме місце.

Більше автобусів загального користування будуть відправлятися у "гаряче" місце відповідно до ступеня переповненості, показаного на їхніх електронних картах GPS. З іншого боку, світлодіодні екрани нагадають самим туристам, що місце зараз недоступне для більшої кількості туристів і пропонує відвідати інші альтернативні місця.

Висновки

У четвертому розділі розглянуто застосунки які можна використовувати в розумних містах. Найпростішим з них є застосунок для муніципального нагляду. Кожен житель розумного міста може за допомогою

свого смартфона надсилати фото чи відео зображення проблеми, яка є в місті в одну єдину мережу для опрацювання таких звернень від громадян, і служби які несуть за це відповідальність швидко вирішувати проблему про яку повідомляється.

Також зі зростанням кількості жителів в містах збільшуються і розміри міста і кількість транспорту в ньому. Тому постійною проблемою швидкої урбанізації є наявність заторів в години пік. Ця проблема легко вирішиться якщо взяти за основу розумне транспортування.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1. Опис ідеї проекту

Суть стартап-проекту. Дослідження ринку послуг IoT «розумного міста» розкривають можливості організації бездротових сенсорних мереж на основі нових рішень.

Зміст ідеї стартапу та визначення її характеристик наведено в табл. 5.1 та табл. 5.2.

Таблиця 5.1

Зміст ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Запропонувати ефективні та дієві рішення для організації бездротової сенсорної мережі в контексті «розумного міста»	1. Виробництво	Спрощена реалізація та зниження витрат, висока безпека
	2. Вулички міста	Можливість взаємодії з міською інфраструктурою для жителів
	3. Транспорт	Отримання актуальної інформації про стан доріг

Таблиця 5.2

Визначення характеристик ідеї стартап-проекту

№ п/ п	Техніко- економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/концеп ції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральн асторона)	S (сильна сторона)
		Запропон о ваний метод	Загально в живаний метод			
1.	Продаж систем Безпроводових сенсорів	Дає змогу	Дає змогу	Недостача Надійності на вулицях міста	Споживачу може не підійти цінова політика	Кінцева вартість нижча, ніж аналоги в конкурентів
2.	Посилення якості та надійності системи на основі топології mesh	Дає змогу	Не дає змогу	Пакети з адресною інформацією витрачають багато трафіку	Спеціальні знання роботи стандарту	Самоорганізація

5.2. Технологічний аудит ідеї стартап-проекту

У таблиці 5.3 оцінено можливість технологічної реалізації ідеї стартапу та показано технології, які можна застосувати для реалізації проекту.

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Організація мережі безпроводових сенсорів	Спеціалізовані апаратно-програмні рішення для організації мережі	Присутня	Доступна
2		Використання апаратних систем загального призначення	Необхідно розробити	Доступна в випадку достатнього бюджету
3		Розробка власних апаратно-програмних рішень	Необхідно розробити	Доступна в випадку достатнього бюджету

5.3. Аналіз можливостей ринку для запуску проекту

У таблиці 5.4 показано попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 5.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартапу

№ п/п	Показники ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість основних гравців, од	5
2	Обсяг продажів, грн/ум.од	180000
3	Тенденції ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Залучення клієнтів
5	Специфічні вимоги стандартизування та сертифікування	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в даній галузі, %	$180000/94000 = 191\%$

У таблиці 5.5 показано характеристику потенційних клієнтів стартап-проекту

Таблиця 5.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності поведінки потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Ефективний моніторинг та управління Інфраструктурою міста	Міські адміністрації	Забезпечення зростання якості життя населення	Результат має мати найвищі стандарти якості
2	Необхідність в зборі та обробці інформації	Підприємства	збір та аналіз інформації для покращення різних показників	Забезпечення надійності роботи мережі сенсорів

У табл. 5.6 наведено основні загрози реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.6

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Опис загрози	Планове реагування компанії
1	Мала цікавість клієнтів	Клієнта можуть не зацікавити запропоновані послуги якщо буде неуспішний маркетинг	Забезпечення різних сервісних послуг
2	Втрата конкурентної позиції	Втрата статусу надійного постачальника	Якісний та кількісний приріст інтенсивності та виважена цінова політика

У табл. 5.7 наведено основні можливості під час реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.7

Основні можливості

№ п/п	Фактор	Опис можливості	Планове реагування компанії
1	Позиції лідера на ринку	Велике зростання попиту	просування продукту на ринку
2	Запровадження технологій в існуючі системи	Збільшеність об'ємів закупівлі	Якісне збільшення потужностей

У таблиці 5.8 наведено особливості та вплив конкурентного середовища на впровадження проекту.

Аналіз конкуренції

Особливості конкурентного середовища	Прояв даної характеристики	Вплив на діяльність підприємства (планові дії компанії для забезпечення конкурентоспроможності)
1. Конкуренція	Застосовуються представлені технології	Велике акцентування стандартизації на високому рівні
2. Локальний	Відсутність єдиного постачальника послуг	Індивідуальний підхід до кожної локальної ділянки
3. Міжгалузева	Відсутня	Відсутня
4. Товарно-видова	Використання Стандартів технологій	Застосування загальноновживаних засобів, за необхідності
5. Цінова	Використання спеціалізованих комплексів високої вартості	Заощадженість, шляхом застосування загальноновживаних засобів
6. Марочна	Стандартизована діагностика	Просування продукту компанії на ринку

У таблиці 5.9 проаналізовано конкуренцію проекту в галузі за М. Портером

Аналіз конкуренції за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	постачальники апаратних засобів	Необхідність в пошуку постачальників	Залучення постачальників	Самостійність у клієнтських рішеннях	Надання переваги рішенням
Висновки:	Середня	Можливість входу в ринок	Постачальник може диктувати свої умови: ціни на послуги	встановлення вимог до якості	Обмеження є в випадку відмов від діагностики

У табл. 5.10 наведено та обґрунтовано фактори конкурентноспроможності.

Таблиця 5.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (чинники, що роблять фактор порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Цінова політика	Можливість раціональнішого використання ресурсів
2	Забезпечення сервісних послуг	Сервісне обслуговування апаратної та програмної частини

У табл. 5.11 перелічено сильні та слабкі сторони проекту.

Таблиця 5.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Порівняння рейтингу товарів- конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	цінова політика	10			+				
2	Послуги обслуговування	10			+				
3	Періодична діагностика	8					+		
4	Потреба у висококваліфікованих кадрах	10							+

У табл.5.12 представлений SWOT-аналіз стартап-проекту.

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: лояльна цінова політика, висока якість,сервісне обслуговування	Слабкі сторони: періодична діагностика, Слабкий маркетинг
Можливості: нові технології,тенденції попиту	Загрози: Низька зацікавленість клієнтів,Втрата монополії

Таблиця 5.13

Альтернативи ринкового впровадження проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність залучення ресурсів	Терміни реалізації
1	Складання договорів з підприємцями та оперативне заволодіння ринку при використанні нових рішень	висока	короткі
2	Застосування приладів загальногосподарського життєвого підвищення Конкурентної спроможності	середня	короткі

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Обґрунтування вибору цільових груп потенційних споживачів показано в табл. 5.14.

Таблиця 5.14

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Загальний профіль цільової групи потенційних клієнтів	Готовність сприйняття продукту споживачами	Орієнтовний попит цільової групи (сегменту)	Напруженість конкуренції в сегменті	Складність входу у сегмент
1	Міська адміністрація	Середня	Середній	Середня	Середня
2	Підприємства	Висока	Високий	Середня	Середня

Визначення базової стратегії розвитку наведено у табл. 5.15.

Таблиця 5.15

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/ п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Основні конкурентоспроможні позиції згідно з обраною альтернативою	Базова стратегія розвитку*
1	Застосування альтернативних технологій та пристроїв	Впровадження нового стандарту якості	Залучення клієнтів у галузі	Стратегія диференціації
2	Бюджетність	Оптимізовані витрати на обладнання та послуги	Використання загальноживаних апаратних рішень замість спеціалізованих комплексів	Стратегія лідерства по витратах

Визначення основної стратегії конкурентної поведінки показано в табл. 5.16.

Таблиця 5.16

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/ п	Чи є проект унікальним на ринку?	Чи необхідно буде компанії шукати нових споживачів, чи опрацьовувати існуючих у конкурентів?	Чи необхідно компанії копіювати основні характеристики товару конкурента ?	Стратегія конкурентної поведінки *
1	Так	Опрацьовувати існуючі та шукати нові	Необхідності немає	Стратегія лідерства

Визначення стратегії позиціонування показано в табл. 5.17.

Таблиця 5.17

Визначення стратегії позиціонування

№ п/ п	Вимоги цільової аудиторії дотовару	Основн а стратегі я розвитк у	Основні конкурентоспромо жні позиції стартап- проекту	Визначення асоціацій, які сформують комплексну позицію стартап-проекту (три основних)
1	висока якість послуг	Стратегія диференціац ії	Новизна, якість, точність дослідження	Якість, точність, надійність
2	Бюджет ні витрати	Стратегія лідерства повитратах	Універсальність запропонованог орішення	Універсальність , невисока вартість

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Основні переваги концепції потенційного товару показано в табл. 5.18.

Визначення основних переваг концепції потенційного товару

№ п/ п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Основні переваги перед конкурентами (існуючі або потенційні)
1	Якість	висока якість, надійність	Надійність
2	Невисока вартість	Оптимальне використання коштів, дешеве обладнання	Невисока вартість

Виявлено три рівні моделі товару. Зміст та складові рівнів товару показано в табл. 5.19.

Таблиця 5.19

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Зміст та складові		
I. Товар за задумом	Якісний товар та послуги, стандартизація якості послуг та обладнання		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1)Вартість обслуговування, 2)Кількість комплектів обладнання3)Строк безвідмовної експлуатації 4)Технологічна собівартість товару	1) М 2) М 3) М 4) М	1) Е 2) Пр 3) Нд 4) Тх
	Якість: міжнародні стандарти, постійне обслуговування та підтримка обладнання		
	Доставка, встановлення і налаштування		
	Марка: Сенсорні мережі		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – обладнання та встановлення		
	Після продажу – обслуговування та сервісна підтримка		

Завдяки чому потенційний товар буде захищено від копіювання: специфічна методика обробки даних.

Визначення цінової політики на послугу показано в табл. 5.20.

Визначення меж встановлення ціни

№ п/ п	Цінова політика товарів- замінників	Цінова політика на товари- аналоги	Рівень купівельної спроможності цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	10000 у.о./од. (стандартна методика)	-	Високий	Н.3000 у.о. – В.10000 у.о. (Товар) Н.500 у.о. –В.3000 у.о. (Послуга)

Створення системи збуту послуги вказано у табл. 5.21.

Таблиця 5.21

Створення системи збуту

№ п/ п	Закупівельна поведінка цільових клієнтів	Функції збуту, що повинен забезпечувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтація на максимальну якість роботи мережі	Поставка якісного та надійного товару	Значна	Договірна система збуту

Концепції маркетингових комунікацій показано в табл. 5.22.

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій цільових клієнтів	Основні методи позиціонуван ня	Завдання рекламного звернення	Концепція рекламного звернення
1	Зацікавленість в надійному та якісному продукті з раціональним використанням ресурсів	Мережні ресурси	Гарантія якості та стандартизац ія, сервіс	Привернути увагу клієнтів до зростаючої популярності послуг	Позиціонуван ня і висвітлення послуг на шляху до якісного контенту
2	Зацікавленість у великих об'ємах продукції із дотриманням усіх умов якості	Мережні ресурси	Глибина каналу постачальник ів, гарантія якості	Привернути увагу до переваг первісності	Позиціонуван ня послуг центру синхронізації раціональним шляхом забезпечення стабільного трафіку

Висновки

В даному розділі був проведений маркетинговий аналіз перспектив реалізації пошуку альтернативних технологій та пристроїв для побудови систем безпроводових сенсорів.

Перспективність впровадження є досить високою, оскільки основними групами клієнтів є місцеві адміністрації та комунальні підприємства, і в разі звершення відповідного авторитету, існує можливість охоплення у масштабах міжнародних ринків. Конкурентна спроможність даного проекту забезпечує низька ціна продукту та забезпечення високої якості проведення в тих умовах, де конкуренти відстають за цим параметром.

Це є перевагою і основним критерієм входження на ринок запропонованого рішення. Проведений аналіз підтверджує, що подальша імплементація проекту є доцільною.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У магістерській дисертації досліджено параметри роботи мережі безпроводових сенсорів в умовах концепції «розумного міста» на основі технологічних рішень.

1. БСМ це покращена основа для реалізації концепції «розумного міста», завдяки роботі цих мереж є можливість ефективного моніторингу та аналізу даних для запровадження необхідних послуг.
2. Вибір топології мережі впливає на її властивості, тому на етапі планування мережі потребує розуміння та врахування всіх кінцевих цілей розгортання мережі та перспектив її розвитку.
3. Проаналізовано та проведено порівняльний аналіз актуальних стандартів для організації БСМ. Обрано стандарт ZigBee як такий, що поєднує відносну низьку вартість, низьке енергоспоживання і стійкість до перешкод.
4. Для моделювання мережі обрано протокол маршрутизації AODV. Даний протокол, є більш енергоефективним, дозволяє швидко встановлювати маршрути за новими напрямками і не вимагає від вузлів мережі зберігати в пам'яті неактивні маршрути.
5. Розроблено стартап-проект, який базується на просуванні на ринок IoT- послуг систем на базі досліджуваних технологій, як готового рішення для розгортання безпроводових сенсорів в умовах «розумного міста».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.dsnews.ua/static/longread/smart-city-ukr/project39270/page19473360.html>
2. <https://learn.ztu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=97896>
3. <https://ru.calameo.com/books/002206302b75f73dbbad5>
4. <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/67697.html>
5. Балонин Н. А., Сергеев М. Б. Беспроводные персональные сети на основе ZigBee. Учебное пособие. – СПб: ГУАП, 2017. – 58 с.
6. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/35203/1/mag_2021_%d0%a1%d0%9d%d0%bc%d0%bd_Pavlius_V_V.pdf
7. Кривченко Т.И. Zigbee-модемы ETRX компании Telegesis // Беспроводные технологии. 2017. № 2. – С. 28-30.
8. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Wi-Fi \(Wireless Fidelity\) - %D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82 %D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9 %D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8 802.11](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Wi-Fi (Wireless Fidelity) - %D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82 %D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9 %D1%81%D0%B2%D1%8F%D0%B7%D0%B8 802.11)
9. <https://uk.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
10. <https://wiki.cuspu.edu.ua/index.php/Bluetooth All>
11. <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/222f091f-6973-4134-ab91-0e64f40c3ed4/content>
12. https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/69332/mod_folder/content/0/%D0%9B-6.pdf?forcedownload=1

13. ZigBee Alliance. ZigBee Specification. 2012. [Електронний ресурс]. URL:
<https://www.zigbee.org/wp-content/uploads/2014/11/docs-05-3474-20-0csg-zigbee-specification.pdf>.
14. <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/umnye-tehnologii-uluchshayut-transport-v-gorodakh/>
15. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31032>
16. http://tk-its.kpi.ua/sites/default/files/2019-03/Kozyk_magistr.pdf
17. https://openarchive.nure.ua/bitstream/document/11599/3/2019_M_PEEA_Husak_O_A.doc
18. <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/umnye-tehnologii-uluchshayut-transport-v-gorodakh/>

