

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
Метод побудови структури сенсорної мережі за критерієм
швидкість передачі
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ІМІм-22-3
Кременецький С.О.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 Телекомунікації та
радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна
інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник: проф. Пустовойтов П.Є.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Безрук В.М.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Не містить відомостей, заборонених до відкритого публікування

Студент _____ / Кременецький С.О. /
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ / Пустовойтов П.Є. /
(підпис) (прізвище та ініціали)

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-наукова
Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« 18 » березня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Кременецькому Сергію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод побудови структури сенсорної мережі за критерієм швидкості передачі

затверджена наказом по університету від « 18 » березня 2024 р. № 232 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20 червня 2024 р.

3. Вхідні дані до роботи Вузли сенсорної мережі, із заданими параметрами. Критерій оптимальності при побудові сенсорної мережі - швидкість передачі

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі Вступ

1. Огляд методів організації сенсорних мереж;

2. Постановка задачі;

3. Метод побудови сенсорної мережі за заданим критерієм;

4. Впровадження методу шляхом симуляції у середовищі OMNET.

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій слайди презентації в форматі Power Point (назва та мета роботи, призначення сенсорних мереж, основні етапи побудови сенсорної мережі, блок-схема методу побудови сенсорної мережі за критерієм, ініціалізація методу, основні формули ітераційного перерахунку, екранна форма програми симуляції, графіки та висновки)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	18.03.2024	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи	21.03.2024	виконано
3	Огляд методів організації сенсорних мереж.	24.03.2024	виконано
4	Постановка задачі.	03.04.2024	виконано
5	Метод побудови сенсорної мережі за заданим критерієм.	16.04.2024 - 29.04.2024	виконано
7	Впровадження методу шляхом симуляції у середовищі OMNET.	15.05.2024	виконано
8	Оформлення презентаційного матеріалу,	27.05.2024	виконано
9	Подача диплома на перевірку та рецензування	14.06.2024	виконано

Дата видачі завдання 18 березня 2024 р.

Студент _____ *Кременецький С.О.*
(підпис)

Керівник роботи _____ *проф. Пустовойтов П.Є.*
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 62 сторінки, 8 рисунків, 5 таблиць, 26 джерел, 1 додаток

Об'єкт дослідження – процес організації сенсорної мережі корпоративної інформаційної системи за критерієм швидкості.

Предмет дослідження – технологія управління сенсорної мережі корпоративної інформаційної системи за критерієм швидкості.

Мета роботи – розробити варіант топології системи управління організації сенсорної мережі за критерієм швидкості та рекомендації щодо застосування технології їх захисту на підприємстві.

Методи дослідження – опрацювання літератури за даною темою, аналіз експлуатаційної документації, міжнародних стандартів та їх порівняння, моделювання процесу управління сенсорної мережі корпоративної інформаційної системи.

В роботі проведено аналіз проблеми побудови сенсорної мережі корпоративної інформаційної системи та визначено мета та завдання управління швидкістю сенсорної мережі корпоративної інформаційної системи. Проаналізовано існуючі технології управління сенсорної мережі корпоративної інформаційної системи.

На основі досліджень проведених в роботі розроблено варіант топології системи управління сенсорної мережі корпоративної інформаційної системи та рекомендації щодо застосування технології побудови за критерієм швидкості передачі даних.

Галузь використання – електроніка, автоматизація та електронні комунікації.

**КОРПОРАТИВНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, СЕНСОРНА МЕРЕЖА,
МЕТОДИ ПОБУДОВИ ТПОЛОГІЇ, ОПТИМІЗАЦІЯ, КЛАСТЕРИЗАЦІЯ**

ABSTRACT

Explanatory note: 62 pages, 8 figures, 5 tables, 26 sources, 1 appendix

The object of research is the process of organising a sensor network of a corporate information system by the criterion of speed.

The subject of research is the technology of managing the sensor network of a corporate information system by the criterion of speed.

Purpose - to develop a variant of the topology of the control system for organising a sensor network by the criterion of speed and recommendations for the use of technology for their protection at the enterprise.

Research methods - studying the literature on this topic, analysis of operational documentation, international standards and their comparison, modelling the process of managing the sensor network of a corporate information system.

The paper analyses the problem of building a sensor network of a corporate information system and defines the purpose and tasks of controlling the speed of the sensor network of a corporate information system. The existing technologies for managing the sensor network of a corporate information system are analysed.

On the basis of the research carried out in the work, a variant of the topology of the control system of the sensor network of the corporate information system and recommendations for the use of technology for building according to the criterion of data transmission speed have been developed.

Field of application - electronics, automation and electronic communications.

CORPORATE INFORMATION SYSTEM, SENSOR NETWORK, METHODS OF TOPOLOGY CONSTRUCTION, OPTIMISATION, CLUSTERING

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	9
ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	11
1.1 Аналіз інформаційних потреб і визначення предметної області дослідження	11
1.2 Загальні відомості про сенсорні мережі	12
1.2.1 Сенсорна мережа	12
1.2.2 Застосування сенсорних мереж	13
1.2.3 Вибір стандарту	14
1.3 Алгоритм кластеризації сенсорної мережі	17
1.4 Огляд інструментів моделювання	19
1.4.1 NS-2 (Симулятор мережі, версія 2)	20
1.4.2 OPNET Modeler (оптимізовані засоби проектування мережі)	21
1.4.3 OMNeT++ (випробувальний стенд Objective Modular Network у C++)	23
1.5 Висновки	24
2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	25
2.1 Загальна характеристика сенсорної мережі	25
2.2 Призначення мережі передачі даних.....	30
2.3 Структура мережі передачі даних	32
2.4 Програмно-технічні засоби робочих станцій	34
2.5 Програмно-технічні засоби серверів	34
2.6 Висновки	35
3 МЕТОД ПОБУДОВИ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ЗАДАНИМ КРИТЕРІЄМ..	36
3.1. Кроки побудови сенсорної мережі	36
3.2. Структурно-логічна схема методу.....	41
3.3. Аналіз результатів.....	45
3.4. Висновки.....	48
4. ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ШЛЯХОМ СИМУЛЯЦІЇ У СЕРЕДОВИЩІ OMNeT	49
4.1 Мета та задачі впровадження.....	49

4.2 Оптимізація за обраним критерієм.....	50
4.3 Порівняльні графіки.....	52
4.4 Висновки	54
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	58
ДОДАТОК А СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	60
ДОДАТОК Б ТЕЗИ КОНФЕРЕНЦІЇ	66
ДОДАТОК В КОД ПРОГРАМИ У OMNET++	67

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- GAN – розподілені комп'ютерні мережі;
- IEEE – Інститут інженерів з електротехніки та електроніки;
- ISM – Industry, Science and Medicine – промисловий, науковий і медичний;
- FFD – Full-Function Device – сімейство модифікаторів;
- O-QPSK – зсув квадратурної фазової маніпуляції;
- CSMA – Carrier Sense Multiple Access – імовірнісний мережевий протокол каналного (MAC) рівня;
- LAN – Local Area Network – Локальні мережі;
- MPLS – Multiprotocol Label Switching – це технологія швидкої комутації пакетів в багатопрокольних мережах;
- TE – Traffic Engineering;
- QoS – Quality of Service – рівень сервісу або обслуговування;
- VPN – Virtual Private Network - віртуальна приватна мережа;
- WPAN – Wireless Personal Area Network – бездротова персональна мережа;
- WLAN – Wireless Local Area Network – бездротова локальна мережа;
- WMAN – Wireless Metropolitan -
- APM – автоматизованих робочих місць;
- ITC – Інформаційно-телекомунікаційна система;
- МПД – мережа передавання даних;
- ПК – персональний комп'ютер;
- СМ – сенсорні мережі.

ВСТУП

Дана дипломна робота присвячена моделюванню сенсорних мереж (СМ) на основі сучасних малопотужних модулів.

Переглядаються стандарти для сенсорних мереж і вивчається стандарт, розроблений Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) для низькошвидкісних мереж 802.15.4.

Досліджено існуючі аналогічні системи для моделювання сенсорних мереж.

Розробка є актуальною, оскільки на даний момент вартість компонентів сенсорної мережі досить велика, щоб можна було побудувати мережу значного розміру для наукових досліджень. І в цьому випадку актуальною є задача моделювання окремих подій і станів цих мереж.

Дана робота спрямована на вивчення питання споживання енергії кожним пристроєм сенсорної мережі.

Мета роботи:

Розробити програму моделювання сенсорної мережі з топологією, визначити кількість споживаної енергії та максимальний час роботи кожного мережевого пристрою.

Необхідно

- вивчити стандарти бездротових сенсорних мереж;
- проаналізувати відомі засоби моделювання FSN;
- розробити програму моделювання WSN;
- визначити кількість споживаної енергії кожним пристроєм у мережі;
- визначити максимальний час роботи кожного пристрою в мережі.

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

1.1 Аналіз інформаційних потреб і визначення предметної області дослідження

Мережа має два поняття: комунікаційна мережа та інформаційна мережа.

Мережа зв'язку призначена для передачі даних, а також виконує завдання, пов'язані з перетворенням даних. Комунікаційні мережі розрізняються за типом використовуваних фізичних з'єднань.

Інформаційні мережі призначені для зберігання інформації і складаються з інформаційних систем. На основі комунікаційних мереж може бути побудована сукупність інформаційних мереж.

Під інформаційною системою слід розуміти систему, яка є або постачальником, або споживачем інформації.

Комп'ютерна мережа складається з інформаційних систем і каналів зв'язку.

Під інформаційною системою слід розуміти об'єкт, здатний зберігати, обробляти або передавати інформацію. Інформаційна система включає: комп'ютери, програми, користувачів та інші компоненти, які використовуються в процесах обробки та передачі даних. У майбутньому інформаційні системи, призначені для вирішення завдань користувача, будуть називатися робочими станціями (клієнтами). Робоча станція в мережі відрізняється від звичайного персонального комп'ютера (ПК) наявністю мережевої карти (мережевого адаптера), каналу передачі даних і програмного забезпечення мережі.

Під каналом зв'язку слід розуміти шлях або засіб передачі сигналів. Спосіб передачі сигналу називається абонентським або фізичним каналом.

У мережі всі робочі станції фізично з'єднані одна з одною через канали зв'язку відповідно до певної структури, яка називається топологією. Топологія — це опис фізичних з'єднань у мережі, що вказує, які робочі станції можуть спілкуватися одна з одною. Тип топології визначає продуктивність, ефективність

і надійність, з якою працюють робочі станції та коли вони звертаються до файлових серверів. Залежно від топології мережі використовується той чи інший спосіб доступу.

Сучасні мережі можна класифікувати за різними ознаками: віддаленість комп'ютерів, топологія, призначення, перелік послуг, принципи управління (централізовані та децентралізовані), методи комутації, методи доступу, тип середовища передачі, швидкість передачі даних.

Комп'ютерна мережа – це варіант взаємодії людини і комп'ютера, що забезпечує прискорення передачі та обробки інформації. З'єднувати комп'ютери в мережу почали більше 30 років тому. Зростання Інтернету різко прискорилося, коли потужність комп'ютерів зросла, і кожен отримав доступ до ПК.

Об'єднані в мережу комп'ютери обмінюються інформацією та спільно використовують периферійні пристрої та пристрої зберігання.

1.2 Загальні відомості про сенсорні мережі

1.2.1 Сенсорна мережа

В даний час технологія сенсорних мереж швидко розвивається. Сенсорні мережі — це розподілені самоорганізовані мережі, стійкі до збоїв окремих елементів, які обмінюються інформацією бездротовим способом. Кожен елемент мережі має автономне джерело живлення, мікрокомп'ютер, приймач/передавач. Зона покриття мережі може становити від кількох метрів до кількох кілометрів залежно від типу модуля й антени, а також завдяки можливості ретрансляції повідомлень від одного елемента до іншого. Обмін даними між двома кінцевими пристроями може здійснюватися через повторювач, якщо радіус дії цих пристроїв не дозволяє їх взаємне виявлення. Таким чином, пристрої з малим радіусом дії можуть спілкуватися один з одним за допомогою системи повторювачів.

Існують наступні основні стандарти для малопотужних мереж:

– IEEE 802.15.4;

- ZigBee;
- Bluetooth;
- Wibree.

1.2.2 Застосування сенсорних мереж

Як правило, СМ використовується для збору даних з пристроїв, оснащених датчиками: температури, вологості, освітлення, тобто моніторингу. Наприклад, мініатюрні датчики можна використовувати в медицині для спостереження за пацієнтами. Апарати, які пацієнт носить із собою, можуть стежити за роботою життєво важливих органів і інформувати лікаря про будь-які небезпечні ситуації.

Невеликі розміри приладів дозволяють проводити не тільки «поверхневі» спостереження за пацієнтом, а й досліджувати внутрішні органи людини. Так, при проведенні гастроскопії в державних лікарнях, поліклініках використовується спеціальний апарат, з гастроскопічною трубкою, але не всі пацієнти можуть її проковтнути. На ринку вже існують пристрої у вигляді таблеток для таких досліджень. Ці пристрої з живленням від батареї мають достатню потужність для безперервної роботи протягом 24 годин і надсилання показань на іншій пристрій, який пацієнт носить із собою протягом цього часу. Після цього лікар може проаналізувати результати і поставити точний діагноз.

Датчики можуть використовуватися для автоматичного включення освітлення при вході людини в приміщення, використовуватися для управління деякими пристроями (в системі «розумний дім»).

Іноді потрібно стежити за рухливістю або руйнуванням будь-яких об'єктів, де важко прокласти кабелі. Для цього, знову ж таки, вигідніше використовувати сенсорні мережі, оскільки датчики мають автономне джерело живлення і вони бездротові.

Також технологія бездротових сенсорних мереж може бути використана для передачі звукових даних - як домофонна система, мультимедійна система з низьким енергоспоживанням.

1.2.3 Вибір стандарту

Існує дуже багато різних стандартів бездротових мереж, але всі їх можна розділити на три групи: WPAN (Wireless Personal Area Network - бездротова персональна мережа), WLAN (Wireless Local Area Network - бездротова локальна мережа), WMAN (Wireless Metropolitan Area Network - бездротова мережа міського масштабу) (рис. 1). З цих груп найбільш підходящими можуть бути стандарти групи WPAN, оскільки вони призначені для низькошвидкісних мереж.

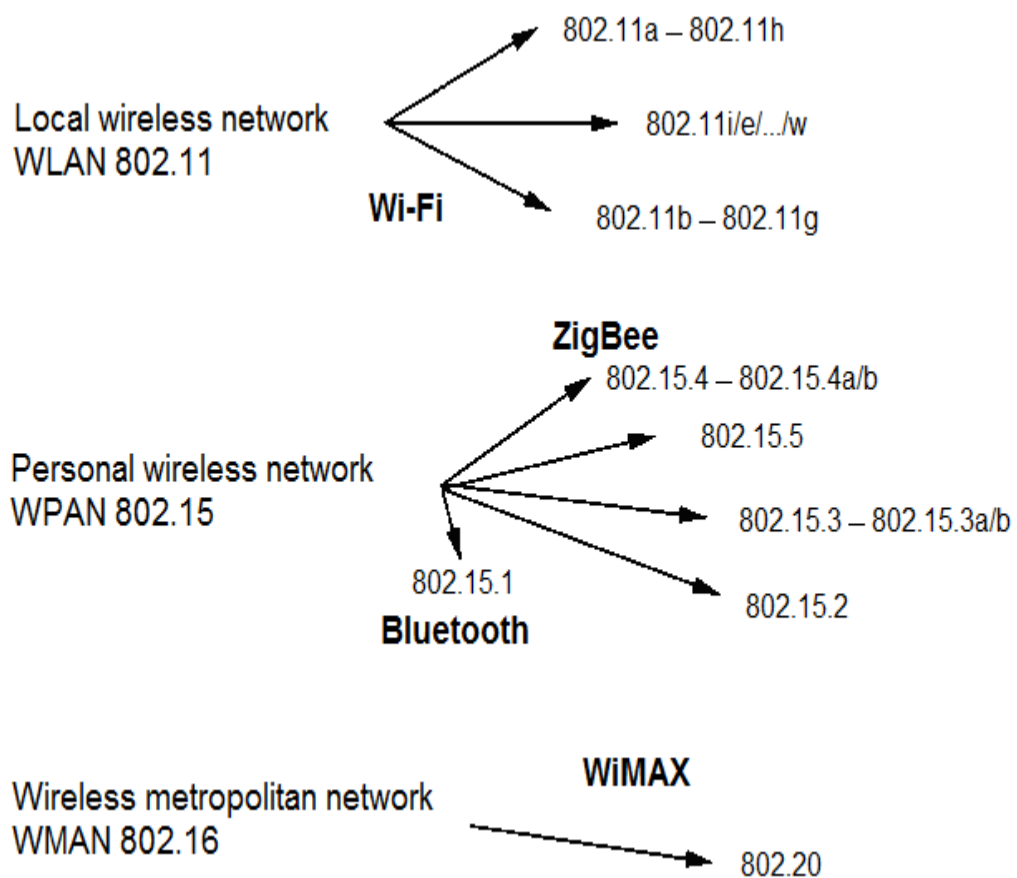


Рисунок 1.1 – Стандарти бездротових мереж

WPAN (Wireless Personal Area Network) — бездротова мережа, призначена для організації бездротового зв'язку між різними типами пристроїв на обмеженій території (наприклад, в межах квартири, офісного робочого місця). Стандарти,

які визначають, як працює мережа, описані в сімействі специфікацій IEEE 802.15.

IEEE 802.15.3 був розроблений як високошвидкісний мережевий стандарт WPAN для високотехнологічних побутових пристроїв (зазвичай призначених для передачі мультимедійних даних). Використовуючи діапазон 2,4 ГГц і технологію модуляції O-QPSK (зсув квадратурної фазової маніпуляції), ви можете досягти швидкості передачі 55 Мбіт/с на відстані до 100 метрів. Захист даних може здійснюватися за стандартом AES. У модифікації стандарту 802.15.3a передбачається збільшити пропускну здатність до 480 Мбіт/с, а в разі специфікації 802.15.3b пропускну здатність складе від 100 до 400 Мбіт/с. Цей стандарт передбачений для досить високих швидкостей передачі даних, а отже, пристрої, що працюють на ньому, будуть мати високе енергоспоживання.

802.15.4 і Zigbee часто ідентифікують як стандарт Zigbee, заснований на стандарті 802.15.4, але ZigBee Alliance вніс ряд змін і розширив його. Стандарт 802.15.4 є відкритим, його можна вільно завантажити з Інтернету та використовувати, тоді як Zigbee є напіввідкритим стандартом: тому, якщо ви використовуєте його в комерційних цілях, ви повинні приєднатися до ZigBee Alliance. До недоліків цього стандарту можна віднести його закритість, а також велику сферу застосування і не «заточеність» під конкретні цілі.

Стандарт Bluetooth (802.15.1) сьогодні добре розвинений і використовується для підключення мобільних телефонів, КПК і периферійних пристроїв. Однак він не призначений для мереж з низьким енергоспоживанням, що істотно обмежує його поширення в сенсорних мережах. Пристрої за стандартом Bluetooth можна об'єднувати в пікомережі (не більше 7 на мережу). Мережа має головного і підлеглого. Для обміну даними використовується так званий нижній діапазон ISM (Industry, Science and Medicine - промисловий, науковий і медичний) 2,4-2,5 ГГц, поширений в побутовій техніці і бездротових мережах. Для використання цих частот не потрібна ліцензія. Потужність кристалічного передавача 1 - 2,5 мВт і дальність дії до 10 м, а при збільшенні потужності до 100 мВт - 100 м. Цей стандарт може бути придатним для розробки,

але на ринку немає пристроїв, які б працювали відповідно до цього стандарту з низьким енергоспоживанням, очікується, що вони будуть випущені на ринок.

Стандарт Wibree був розроблений компанією Nokia у 2001 році. Wibree розроблено для роботи разом із Bluetooth. Він працює в діапазоні 2,4 ГГц із фізичною швидкістю передачі 1 Мбіт/с. Основні сфери застосування включають такі пристрої, як наручні годинники, бездротові клавіатури, іграшки та спортивні датчики, де низьке енергоспоживання є однією з ключових вимог. Даний стандарт можна віднести до стандарту Bluetooth, тому він має ті ж недоліки - обмежена кількість підключаються пристроїв, на ринку відсутні малопотужні модулі.

Порівняльна характеристика окремих еталонів така (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння стандартів бездротових мереж

	Bluetooth	Wibree	ZigBee
Частота	2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц
споживана потужність	100 мВт	~10 мВт	30 мВт
Строк роботи батареї	до 6 місяців	1 - 2 роки	0,5 - 2 роки
Діапазон	10 - 30 м	10 м	10 - 75 м
Швидкість передачі	1 - 3 Мб/с	1 Мб/с	25-250 Кб/с
Ціна	3\$	3,2\$	2\$
Топології	Зірка, крапка-точка, змішана		
Безпека	128-бітове шифрування		
Час відгуку	3 с	3 с	15 мс

Найбільш підходящим стандартом є 802.15.4, оскільки він є відкритим і призначений для низькошвидкісних мереж із малим енергоспоживанням.

1.3 Алгоритм кластеризації сенсорної мережі

Всі стандартні пристрої можна класифікувати за функціональністю і призначенням.

За функціональним призначенням можна виділити два види пристроїв: повнофункціональні (FFD) і напівфункціональні (RFD). Повнофункціональний пристрій може підключатися до будь-якого пристрою в мережі, тоді як напівфункціональні пристрої можуть підключатися лише до FFD.

За призначенням існує три різних типи пристроїв ZigBee.

ZigBee Coordinator (ZC) є найбільш відповідальним пристроєм, формує шляхи дерева мережі і може спілкуватися з іншими мережами. Кожна мережа має одного координатора ZigBee. Він керує мережею - призначає мережі PAN ID, роздає короткі адреси, вибирає частоту.

ZigBee Router (ZR) - може виконувати роль проміжного маршрутизатора, передаючи дані з інших пристроїв. Він також може запускати функцію програми.

Кінцевий пристрій ZigBee (ZED) - його функціональне навантаження дозволяє обмінюватися інформацією з батьківським вузлом (або координатором, або маршрутизатором), не може передавати дані з інших пристроїв. Таке ставлення дозволяє вузлу спати левову частку часу, що економить заряд акумулятора. ZED потребує мінімального обсягу пам'яті, тому може бути дешевшим у виробництві, ніж ZR або ZC.

Розрізняють такі топології мережі:

- зірка;
- точка-точка (однорангова мережа).

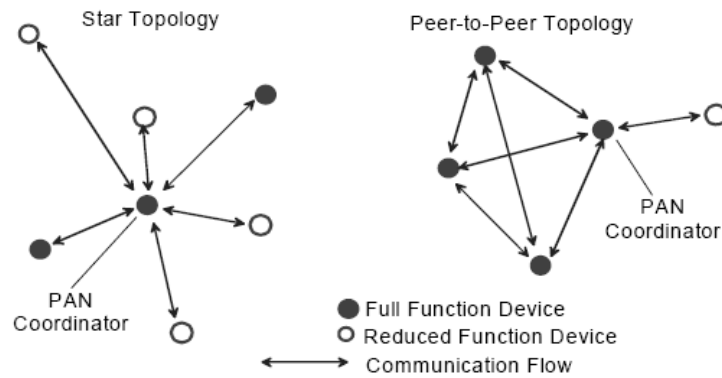


Рисунок 1.2 – Топологія мережі

У зіркоподібній топології зв'язок відбувається між центральним головним контролером, який називається координатором PAN, та рештою підлеглих пристроїв. Це основний пристрій у мережі, тому його можна живити від стаціонарного джерела.

Однорангова топологія також має координатора PAN, але будь-який пристрій, на відміну від зіркоподібної топології, може спілкуватися з іншим, доки вони знаходяться один в одному. Таким чином, «рівноправні вузли» можуть утворювати більш складні мережеві утворення, наприклад, цикл або дерево кластерів (рис. 1.3). У цьому випадку пристрої RFD підключаються до дерева кластера як листовий пристрій у кінці гілки.

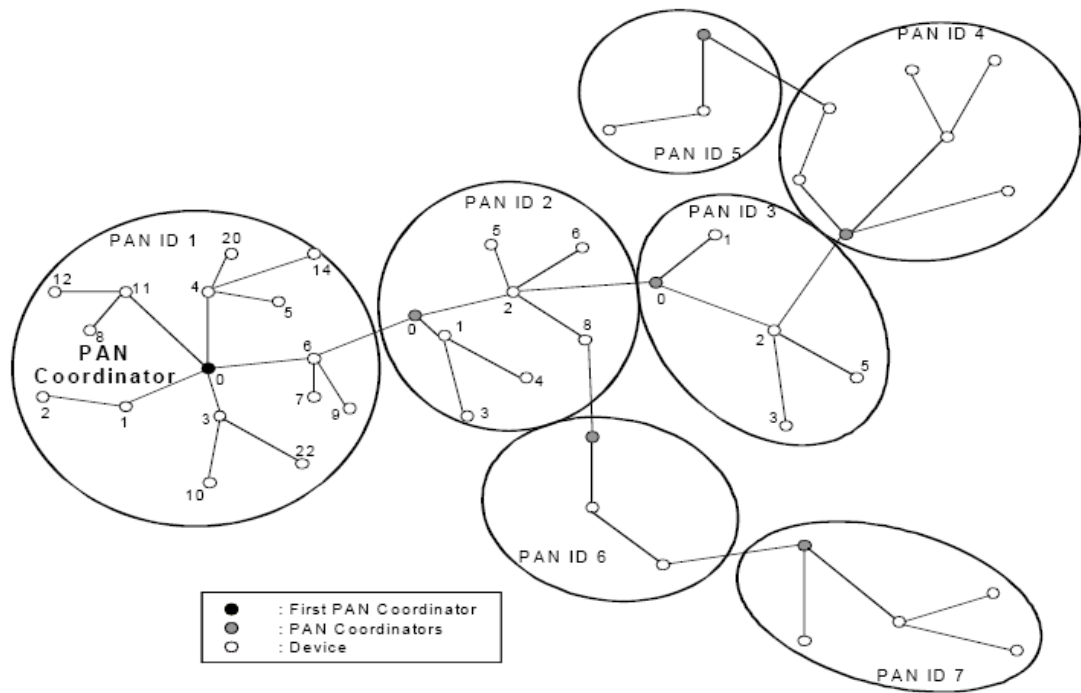


Рисунок 1.3 – Топологія кластера

Усі пристрої повинні підтримувати унікальні 64-розрядні адреси. Ці адреси використовуються для адресації в даній мережі. Для зменшення трафіку мережі передбачено використання 16-бітних адрес, що призначаються мережевим координатором.

1.4 Огляд інструментів моделювання

Серед засобів моделювання окремих подій і станів бездротових сенсорних мереж на основі стандарту IEEE 802.15.4-2006 найбільш широко використовуються такі середовища:

1. OPNET Modeler (поточна версія 16.0);
2. OMNET++ (поточна версія 4.1);
3. NS-2 (поточна версія 2.34).

1.4.1 NS-2 (Симулятор мережі, версія 2)

NS-2 — це об'єктно-орієнтоване середовище моделювання дискретних подій і станів з відкритим кодом, розроблене в рамках проекту VINT. Середовище моделювання написано на C++ і TCL. NS-2 використовує TCL для створення сценаріїв - це дозволяє створювати складні сценарії за допомогою сценаріїв.

Спочатку NS-2 підтримував тільки моделювання статичних TCP/IP комп'ютерних мереж. Однак тепер підтримуються мобільні вузли, що дозволяє моделювати спеціальні мобільні мережі. Протоколи спеціальної маршрутизації AODV, DSDV, DSR і TORA підтримуються, але їх потрібно вдосконалити для коректної роботи з мобільними вузлами.

Для NS-2 існує модель, яка реалізує стандарт IEEE 802.15.4, розроблений Jinlian Zheng та ін. Структура компонентів моделі LR-WPAN та її основні функції показані на рис. одинадцять.

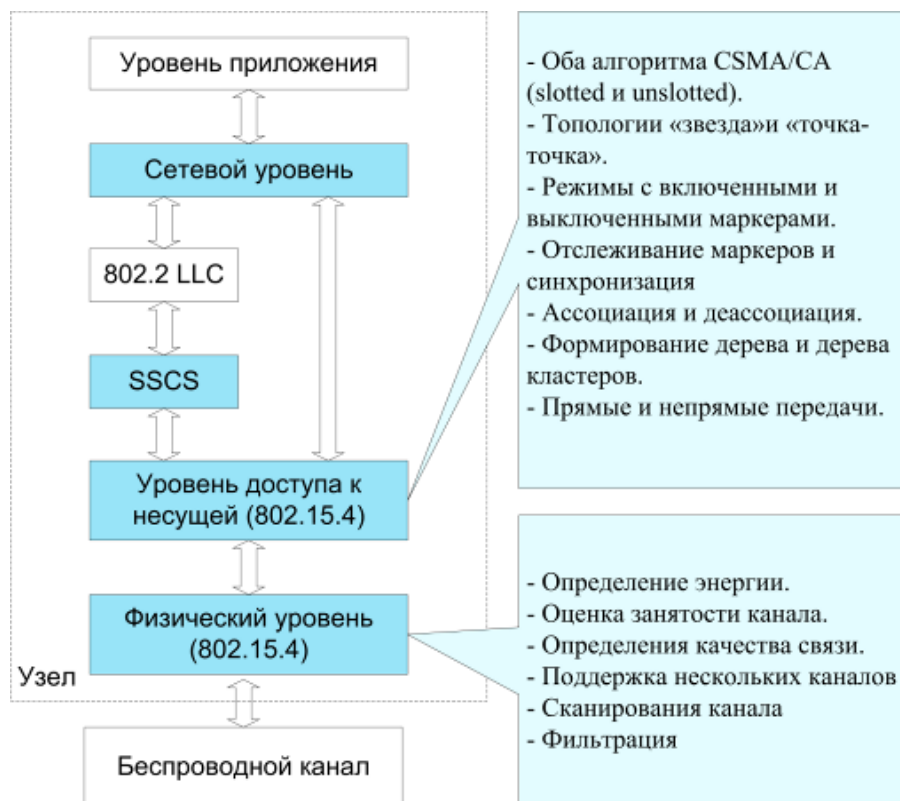


Рисунок 1.4 – Компонентна структура моделі LR-WPAN NS-2

Слід зазначити, що в перших версіях моделі були реалізовані основні функції мережевого рівня ZigBee, але пізніше вони були виключені з публічного надбання, оскільки не повністю відповідали цьому стандарту. У зв'язку з цим на даний момент можуть використовуватися тільки існуючі в NS-2 протоколи маршрутизації, які не повністю враховують особливості бездротових сенсорних мереж.

Документації по моделі явно недостатньо, автор в основному пропонує звернутися до доступної презентації разом з вихідним кодом моделі, до списку поширених питань і аналізу вихідного коду моделі.

1.4.2 OPNET Modeler (оптимізовані засоби проектування мережі)

OPNET Modeler — це потужне середовище моделювання дискретних подій і станів. Він містить багато бібліотек мережевих технологій і протоколів зв'язку, таких як TCP/IP, протокол передачі гіпертексту (HTTP), асинхронний режим передачі (ATM) і FrameRelay, IP-QoS, 802.11 (Wi-Fi), ZigBee тощо. Ці бібліотеки забезпечують блоки для побудови мережевих моделей. Одним із багатьох модулів, доступних у OPNET Modeler, є бездротовий модуль. Він розширює функціональні можливості середовища для моделювання та аналізу бездротових мереж.

У OPNET Modeler 14.0 доступні моделі вузлів ZigBee, розроблені OPNET. При цьому вихідний код моделі мережевого рівня та прикладного рівня прихований від користувачів. Доступний лише низькорівневий код моделі 802.15.4.

Існує також модель сенсорного вузла з відкритим кодом, яка відповідає стандарту IEEE 802.15.4, розробленому спільнотою OPEN-ZB. Різні версії цієї моделі працюють з OPNET Modeler 10.5 і вище (табл. 1.2).

Таблиця 1.2: Існуючі моделі OPEN-ZB для OPNET

OPEN-ZB модель	Дата випуску	Версія OPNET
OPNET Simulation Model v 3.0b	20.11.2019	15.0
OPNET Simulation Model v 2.1	31.03.2019	14.5
OPNET Simulation Model v 2.0	22.05.2017	11.5
OPNET Simulation Model v 1.0	06.04.2016	10.5

Модель OPEN-ZB

Модель реалізує фізичний рівень і рівень доступу до носіїв і відповідає стандарту IEEE 802.15.4. Версія 2.1 моделі підтримує лише топологію «зірка», коли зв'язок між кінцевими пристроями відбувається через центральний пристрій, який називається координатором приватної мережі.

У моделі версії 2.1 є два типи вузлів:

1. `wpan_analyzer_node` - вузол, який збирає глобальні статистичні дані для приватної мережі;

1. `wpan_sensor_node` - вузол, який реалізує комунікаційні протоколи стандарту IEEE 802.15.4-2003

Структура сенсорного вузла, що використовується в моделі, складається з чотирьох функціональних блоків (рис. 12):

1. Фізичний рівень складається з радіопередавача (tx) і приймача (rx), які, відповідно до специфікації IEEE 802.15.4, працюють на частоті 2,4 ГГц зі швидкістю обміну даними 250 Кбіт/с. Потужність передавача встановлюється на 1 мВт з модуляцією QPSK (квадратурна фазова маніпуляція). Фізичний рівень реалізовано за допомогою бездротового модуля, який уже існує в OPNET Modeler з параметрами, що відповідають стандарту IEEE 802.15.4.

2. Рівень доступу до середовища реалізує алгоритм CSMA/CA з фіксованими часовими інтервалами очікування передачі (слотований CSMA/CA) і механізмом гарантованих часових інтервалів (GTS). Трафік GTS (тобто трафік, чутливий до швидкості), що надходить із прикладного рівня, зберігається в

буфері певної ємності та передається в мережу, коли відповідний часовий інтервал активний. Незалежні від часу кадри даних зберігаються в необмеженому буфері та передаються в мережу протягом активного періоду конкуренції відповідно до алгоритму CSMA/CA з фіксованими інтервалами часу очікування передачі. Цей рівень також може генерувати кадри маркерів для синхронізації пристроїв у мережі, якщо хост перебуває в режимі координатора.



Рисунок 1.5 – Модель OPEN-ZB 2.1

1.4.3 OMNeT++ (випробувальний стенд Objective Modular Network у C++)

OMNeT++ — це платформа симуляції дискретних подій і станів на основі відкритих компонентів, яка стає все більш популярною. Основна сфера застосування – моделювання мереж передачі даних, IT-систем і бізнес-процесів. Компоненти OMNeT++ написані мовою C++.

На основі середовища моделювання OMNeT++ 4.1 побудовано симулятор різних протоколів для бездротових сенсорних мереж Castalia (поточна версія 3.1). Він також реалізує модель, що відповідає стандарту IEEE 802.15.4.

Виходячи з розглянутого середовища моделювання, існують бібліотеки INETMANET і MiXiM, які дозволяють створювати моделі бездротових сенсорних мереж, але на даний момент готових моделей немає.

Касталія

Castalia — симулятор мережі з низьким енергоспоживанням. Особливістю цього симулятора є те, що команда розробників поставила перед собою завдання реалізувати моделі не тільки рівнів передачі даних, а й симулювати фізичні процеси, дані про які збираються у вузлах. В результаті виходить, що бездротові датчики пов'язані між собою не тільки бездротовими каналами зв'язку, але і фізичним процесом, параметри якого вони вимірюють.

1.5 Висновки

Об'єднана сенсорна мережа є стратегічно важливим об'єктом, тому захист її комп'ютерної мережі є пріоритетною задачею спеціалістів. Головна загроза для таких інфраструктур це кібератаки, які постійно розвиваються та яких з кожним днем стає все більше і більше. Щоб запобігти таким атак, системи виявлення вторгнень аналізують вхідний та вихідний трафік, в результаті чого можна вжити попереджувальні заходи для захисту мережі. Для виявлення атак у режимі онлайн пропонується використовувати гібридний підхід на основі двох різних нейромережних моделей (багатошарового персептрона, нейронечітка мережа).

Нейромережі можна створити як програмно (Python, PHP та ін.), так і використовуючи нейропакети (MatLAB, St Neural Networks та ін.). Обрано підхід – створення мереж за допомогою C++ та візуалізацією на WindowsForms. Для створення вибірок з метою навчання нейронних мереж обрано базу даних, кожна з яких, в свою чергу, подається декількома класами.

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

2.1 Загальна характеристика сенсорної мережі

Комп'ютерна мережа – це два або більше комп'ютерів, які взаємодіють через середовище передачі даних. Під середовищем передачі даних можна розуміти кабельну систему (наприклад, звичайний телефонний провід, волоконно-оптичний кабель) і різні види бездротового зв'язку (інфрачервоне випромінювання, лазер, спеціальні види радіопередачі). Пристрої в мережі повинні мати процесор, а також мати можливість передавати повідомлення з одного пристрою на інший.

Основні моделі комутаційних пристроїв в мережах:

Комутаційна мережа. Клієнти мережі фізично підключені до кінця взаємодії. Переваги: взаємодія відбувається з постійною швидкістю, що дорівнює мінімальній швидкості каналів, що складають лінію передачі даних. Недоліки: така організація може блокувати інші магістралі (якщо ми підключили вагони 1 і 2, то машини 1 і 3 не зможуть зв'язатися, так як канали вже зайняті). Прикладом є телефонні з'єднання.

Мережа з комутацією пакетів Повідомлення розбивається на частини даних однакового розміру (пакети), які передаються по мережі. Переваги: оскільки всі пакети однакового розміру, відбувається досить швидке з'єднання, оскільки практично не буває ситуацій, коли деякі канали блокуються; за рахунок розбиття на пакети можна якісно краще виправляти помилки - щоб виправити помилку, потрібно лише повторно передати пакет, в якому вона виникла. Недоліки: існує проблема навантаження на комунікаційні машини через можливу нерівномірність кількості та обсягу повідомлень від різних машин. (реальні мережі).

Комп'ютерні мережі розрізняються за складністю та сферою застосування. В результаті їх класифікують різними способами. Найпоширеніший спосіб

оцінки мереж базується на розмірі географічної території, охопленої мережею. З цієї точки зору виділяють наступні основні типи мереж:

Локальні мережі (LAN, LAN - Local Area Network) охоплюють невелику географічну територію. LAN — це система зв'язку, яка підтримує один або кілька високошвидкісних каналів передачі інформації в межах однієї будівлі або певної обмеженої території, наданої підключеним пристроям для короткочасного використання. Географічна зона, яку охоплює локальна мережа, швидше за все визначається технологією створення мережі, ніж будь-якими іншими факторами (тому вважається, що мережа на основі технології Apple Talk стабільно працює в радіусі до 300 м, мережа Ethernet - до 2500 метрів).

У локальній мережі середовище передачі даних зазвичай швидше, ніж у глобальних мережах. Швидкість передачі даних коливається від кількох тисяч біт в секунду до 100 мільйонів біт (мегабіт) в секунду.

GAN — це розподілені комп'ютерні мережі, які дозволяють з'єднувати комп'ютери на великій географічній території (частина країни, кілька країн і навіть увесь світ).

Середовище передачі повільніше, ніж локальна мережа. Географічний діапазон LAN та GAN можна розширити за допомогою можливостей віддаленого доступу.

Комп'ютерні мережі також класифікуються за моделлю взаємодії мережевих пристроїв:

Однорангові мережі дозволяють кожному комп'ютеру взаємодіяти з кожним комп'ютерним пристроєм у мережі. Витрати на організацію однорангових обчислювальних мереж відносно невеликі. Проте зі збільшенням кількості робочих місць ефективність їх використання різко знижується. Порогове значення кількості робочих станцій, за даними Novell, становить 25. Тому однорангові локальні мережі використовуються лише для невеликих робочих груп. Основним недоліком однорангової мережі є збільшення часу на вирішення прикладних задач. Це пов'язано з тим, що кожен комп'ютер мережі обробляє всі запити, що надходять до нього від інших користувачів. До недоліків

також можна віднести можливість втрати мережевих даних і складність організації резервного копіювання.

Мережі з виділеним сервером, що забезпечує передачу інформації з однієї машини на іншу, визначає рівні доступу до даних і забезпечує безперебійну роботу мережі. Серверна програма також працює на серверній машині, що дозволяє надавати послуги цього комп'ютера іншому. Клієнти мережі спілкуються з цією програмою-сервером-сервером через відповідну клієнтську програму, яка виконується безпосередньо на обслуговуваному комп'ютері (на стороні клієнта).

Схема взаємодії програм у мережі називається архітектурою клієнт-сервер. Суть роботи програми за цією схемою полягає в тому, що сервер за командою клієнта виконує певні дії, надаючи клієнту послуги. Наприклад, надання послуг в Інтернеті будується за такою схемою, тобто здійснюється спільною роботою 2 процесів: на комп'ютері користувача та на комп'ютері-сервері.

Усі локальні мережі мають різне середовище передачі:

– Стандартна телефонна мережа. Аналоговий зв'язок (кабелі - виті пари). Для передачі інформації в цьому середовищі потрібен додатковий зовнішній пристрій, який називається модемом.

– З коаксіальним кабелем. Швидкість передачі даних при цьому методі досить низька.

– Волоконно-оптичний кабель.

Локальні мережі також характеризуються топологією мережі. Топологія визначає геометричне розміщення (конфігурацію) вузлів мережі та спосіб з'єднань між ними в середовищі передачі даних.

Прийнято виділяти 3 основних типи топології мережі.

Топологія зірка характеризується тим, що всі пристрої підключені до центру і, відповідно, всі повідомлення в мережі передаються через центральний вузол. Центр може бути як активним, так і пасивним пристроєм. Активний центр

починає відкривати деяку передачу, а пасивний центр просто забезпечує зв'язок між мережевими пристроями.

Переваги:

- а) високий рівень захисту даних у центральному вузлі;
- б) проста адресація, яка контролюється центральним вузлом;
- в) спрощуються процеси усунення несправностей.

Недоліки:

- а) залежність мережі від надійності центрального вузла, оскільки його вихід з ладу призводить до відмови всієї мережі;
- б) складність центрального вузла, який відповідає за більшість функцій мережі.

Топологія «кільце» - замкнутий цикл робочих станцій або вузлів з повідомленням, що проходить через станції послідовно. У цій конфігурації повідомлення рухаються по колу в одному напрямку. У кільцевій топології немає виділеного вузла, який керує передачею повідомлень. Передача сигналу в більшості випадків відбувається через ретранслятори, до яких підключені вузли мережі. Ретранслятор може бути пасивним або активним пристроєм. Якщо доступ до кільця здійснюється через активний ретранслятор, то він виконує такі функції:

- отримує пакет від вузла-джерела і підсилює сигнали;
- робить пакет доступним для приймального вузла;
- дозволяє вузлу передавати власний пакет;
- посиляє пакет до наступного стрибка або буферизує його.

Пасивний ретранслятор дає вузлу тільки можливість підключення до середовища передачі.

Переваги:

- а) немає залежності мережі від функціонування окремих вузлів. У цьому випадку є можливість відключити вузол без порушення роботи мережі;

- б) використовується проста маршрутизація пакетів;
- в) несправні вузли легко ідентифікуються, і в разі відмови або несправності виконується реконфігурація.

Недоліки:

- надійність мережі значною мірою залежить від надійності кабельної системи;
- необхідно використовувати більш складне програмне забезпечення для вузлів, наприклад, щоб функціонувати в ситуаціях збою, таких як реконфігурація мережі, втрата токена в кільці тощо;
- вирішення проблеми захисту інформації ускладнюється, оскільки дані проходять через вузли мережі.

Топологія шини використовує прямий медіа-сегмент, до якого безпосередньо підключені всі вузли або робочі станції.

Шина - це середовище передачі, яке фізично не замкнене в кільце. Всі вузли підключаються до шини однаково через підсилювачі - повторювачі сигналів, оскільки сигнали в шині передаються з втратами, тобто загасають.

Сигнали на шині від передавального вузла поширюються в усіх напрямках до інших вузлів. Оскільки всі вузли-приймачі отримують повідомлення, що передає, майже одночасно, необхідно вирішити проблему права доступу до середовища шляхом застосування методів вирішення мережевих колізій або шляхом організації логічного кільця вузлів.

Переваги:

- поширеність і популярність локальної мережі;
- простота підключення нових вузлів та їх доступність;
- простота здійснення трансляції;
- пристосованість до передачі повідомлень з різкими коливаннями інтенсивності потоку повідомлень.

Недоліки:

- середовище передачі пасивне, отже, необхідно посилити ослаблені в середовищі сигнали;
- захист інформації складний, тому що можна легко підключитися до мережі;
- при великій кількості вузлів можливе насичення середовища передачі (різке зниження пропускної здатності);
- в деяких випадках не існує оптимального механізму доступу до середовища, коли, наприклад, колізії вирішуються, пріоритет мають окремі вузли мережі.

Різні топології мережі використовують різні методи доступу до даних:

Поділ часу. При такому доступі комп'ютера або сервера час ділиться на кванти. У кожному кванті часу певна кількість інформації передається від одного комп'ютера до іншого. Цей метод найчастіше використовується в топології зірки.

Сегментація. Інформація ділиться на невеликі сегменти, і в кожному часовому зрізі один або кілька сегментів переходять від відправника до одержувача. Метод використовується в архітектурі шин.

Маркерний метод (пріоритетний). Використовується в кільцевій топології, де маркер проходить по мережі та передає інформацію.

2.2 Призначення мережі передачі даних

Інформаційно-телекомунікаційна система (ІТС) – сукупність засобів обчислювальної техніки, приладів промислової автоматики, засобів зв'язку, програмного забезпечення, каналів зв'язку, а також користувачів, що працюють із ними (персоналу), призначених для ефективного розв'язання задач автоматизації виробничої та господарчої діяльності підприємств. До складу ІТС входять різні автоматизовані системи, які можуть мати спільні джерела

інформації та забезпечують комплексну обробку даних з метою ефективного розв'язання певних галузевих задач автоматизації.

Кожна з автоматизованих систем складається з засобів автоматизації окремих складників певного технологічного процесу – автоматизованих робочих місць (АРМ). Найважливіші складові ІТС:

- мережа передавання даних (МПД);
- автоматизована система керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ-Є);
- автоматизована система керування пасажирськими перевезеннями (АСКПП УЗ-Є);
- автоматизована система бухгалтерського обліку; – автоматизована система обліку та управління майновими і земельними ресурсами (АСМК);
- автоматизована система автоматизації кадрового обліку;
- автоматизована система корпоративного електронного документообігу.

Так як структура об'єднаної комп'ютерної мережі України це конфіденційна інформація,

Розглянемо одну із структур мереж на рисунку 2.1.

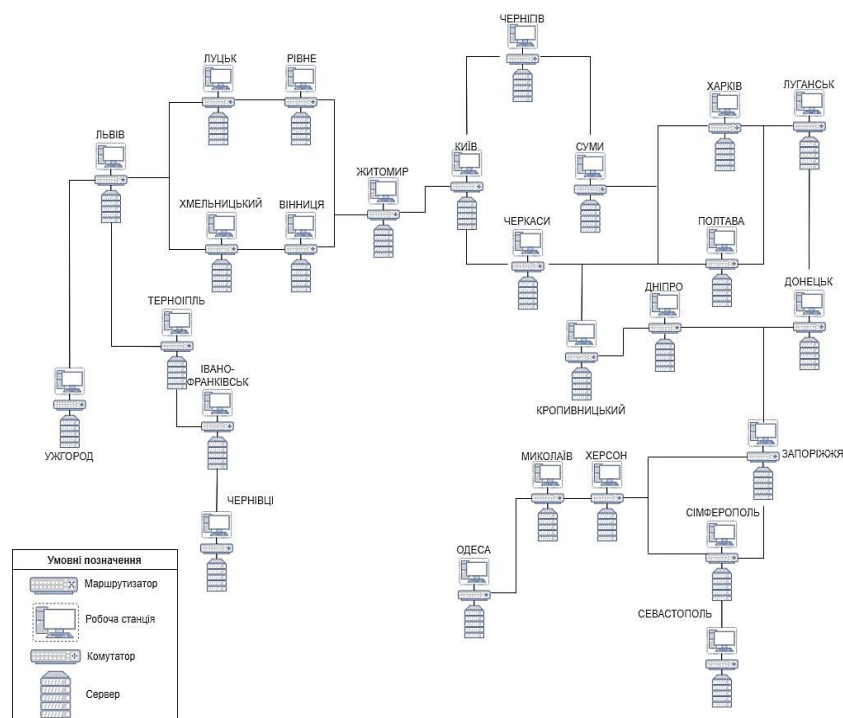


Рисунок 2.1 – Структура об'єднаної комп'ютерної мережі України

2.3 Структура мережі передачі даних

– При виборі мережної архітектури ЄМПД УЗ та виборі обладнання вузлів було звернено особливу увагу на наступні вимоги:

– ЄМПД повинна мати високу якість передачі потоків даних всіх функціонуючих та запланованих до впровадження автоматизованих систем та сервісів з урахуванням вимог до затримки передачі пакетів даних, необхідної пропускної смуги та пріоритетності їх передачі, забезпечувати конфіденційність передачі інформації, швидке переключення на резервні маршрути проходження трафіку, ефективне використання доступних каналів зв'язку;

– ЄМПД повинна дозволяти без перепланування архітектури мережі та заміни обладнання впроваджувати нові сервіси, підключати до мережі нові об'єкти, збільшувати пропускну спроможність каналів зв'язку.

Враховуючи архітектуру транспортної мережі SDH, функціонуючих МПД автоматизованих систем АСК ВП УЗ, АСК ПП УЗ та перераховані вище вимоги ТЗ, було вибрано план побудови ЄМПД, який передбачає послідовне (поетапне) впровадження технології MPLS на базі обладнання фірми CISCO[12].

MPLS (Multiprotocol Label Switching) — це технологія швидкої комутації пакетів в багатопротокольних мережах, заснована на використанні міток. MPLS розробляється і позиціонується як спосіб побудови високошвидкісних IPмагістралей. Серед основних переваг MPLS можна виділити: надання орієнтованих на з'єднання сервісів з можливістю динамічної перебудови маршрутів і обходу вузла, що відмовив; управління інформаційними потоками (traffic engineering), пріоритизація трафіку по мітках відповідно до класу обслуговування (COS), просте і економічне рішення проблеми якості сервісу (QoS); ефективна передача великих об'ємів трафіку в магістральній мережі, скорочення розмірів таблиць маршрутизації в ядрі мережі, комутація пакетів на основі міток, прозора передача через ядро мережі IP/MPLS трафіку Ethernet і ATM/FR; просте нарощування вузлів в мережах VPN і підключення до ядра

MPLS служб, що застосовують різні технології доступу, для надання послуг VPN.

Якщо розглядати мережу з позицій VPN, то маршрутизатори Р безпосередньо не взаємодіють з маршрутизаторами СЕ, а забезпечують транзитне з'єднання між маршрутизаторами РЕ. Маршрутизатори РЕ є функціонально складнішими, ніж Р. На них покладаються головні завдання по підтримці VPN, а саме розмежування маршрутів і даних, що поступають від різних служб. Маршрутизатори РЕ служать також крайовими точками шляхів LSP між сайтами служб, і саме РЕ призначає мітку пакету IP для його транзиту через внутрішню мережу маршрутизаторів Р. Шляхи LSP прокладаються на основі технології Traffic Engineering за допомогою протоколів RSVP або CR-LDP. Прокладка LSP означає створення таблиць комутації міток на всіх маршрутизаторах РЕ і Р, утворюючих даний LSP. Traffic Engineering (TE) – це технологія впливу на ефективне використання ресурсів мережі, в дослівному перекладі - «інжиніринг трафіку». Завдання TE полягає у визначенні маршрутів потоків трафіку через мережу, тобто для кожного потоку потрібно вказати точну послідовність проміжних маршрутизаторів і їх інтерфейсів на шляху між вхідною і вихідною точкою потоку. При цьому всі ресурси мережі повинні бути завантажені якомога збалансованіше.

Для забезпечення безперебійності роботи мережі у вузлах МПД магістрального та дорожнього рівня, встановлюється по два комплекти мережного обладнання в режимі гарячого резервування, яке забезпечує підключення основних та резервних ліній зв'язку між вузлами МПД, та підключення об'єктів лінійного рівня за допомогою фізичних пар наземного зв'язку (цифровими модемами SHDSL) – до 2Мбіт/с або за допомогою каналів тональної частоти (аналоговими модемами) до 19,2Кбіт/с. Інформаційні пункти, де відсутня можливість організації дротового зв'язку, організовані бездротові канали мобільного (до 256Кбіт/с) або супутникового зв'язку (до 64Кбіт/с).

При наявності резервних каналів і ліній зв'язку у разі виходу з ладу мережного обладнання перехід відбувається автоматично або через дистанційне втручання фахівців ІОЦ – адміністраторів мережі.

Концептуально для побудови єдиної мережі передачі даних обрано мережне обладнання Cisco, яке представляє собою єдиний програмно-апаратний комплекс [14].

2.4 Програмно-технічні засоби робочих станцій

Обладнання робочих станцій користувачів, яке використовується на Україні має дуже різноманітну конфігурацію, та однозначно можна стверджувати, що вона задовольняє системним вимогам для найпоширенішої операційної системи Microsoft Windows XP.

На робочих станціях користувачів також використовуються операційні системи Windows Vista, Windows 7, Windows 8 та починає з'являтися останнє, на сьогоднішній день, покоління операційних систем від Microsoft - Windows 10.

Використання цих ОС на робочих місцях користувачів обумовлюється наступними факторами:

- інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс;
- простота налаштування системи та встановлення додатків;
- багаторічний досвід роботи користувачів з ОС і продуктами від Microsoft [14].

2.5 Програмно-технічні засоби серверів

На серверах використовуються ОС HP-UX, Linux, FreeBSD, Novell Netware. Та більшість серверів працюють на операційних системах від Microsoft - Windows 2003 Server (x64), Windows 2008 Server (x64).

ОС HP-UX використовується на центральному кластері баз даних, який складається із двох вузлів. Ця ОС розроблена фірмою Hewlett-Packard для роботи

на серверах цієї фірми архітектури PA-RISC, і є комерційним клоном UNIX. Ця ОС постачається попередньо встановленою на серверах Hewlett-Packard PA-RISC архітектури.

ОС Linux використовується в демілітаризованій зоні Internet, а також в intranet мережі підприємства.

2.6 Висновки

Об'єднана сенсорна мережа є стратегічно важливим об'єктом, тому захист її комп'ютерної мережі є пріоритетною задачею спеціалістів. Отже, необхідно використати нейромережну технологію для виявлення атак, оскільки такий метод має ряд переваг: можливість працювати з великим обсягом даних, здатність до самонавчання, є можливість у режимі реального часу виділити велику кількість ознак та провести класифікацію мережевих пакетів.

В даній роботі будемо використовувати метод штучної нейронної мережі. А для більш наглядної картини, будимо працювати з 8 елементами, замість 26 (взявши кінцеві точки на рис. 2.1).

3 МЕТОД ПОБУДОВИ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ЗА ЗАДАНИМ КРИТЕРІЄМ

3.1. Кроки побудови сенсорної мережі

Побудова структури сенсорної мережі за критерієм швидкості передачі даних **актуальна** задача, особливо важлива в сферах, де вимоги до реакційного часу дуже високі, наприклад, у сфері інтернету речей (IoT), автономних систем, медичних пристроїв, онлайн керування рухомими об'єктами, тощо. Для побудови такої структури необхідно виконати кроки, вказані в таблиці 1.

Таблиця 3.1 – Кроки побудови сенсорної мережі

1	Аналіз вимог до швидкості передачі даних	Ретельний аналіз потреб системи щодо швидкості передачі даних, максимального обсягу даних, які потрібно передавати, і визначення максимально допустимих затримок
2	Вибір сенсорів і комунікаційних протоколів	Вибір сенсорів, які забезпечать необхідну швидкість передачі даних та комунікаційних протоколів, таких як Wi-Fi, BlueTooth, ZigBee, LoRa і т.п.
3	Оптимальне розміщення сенсорів і точок доступу згідно до критерію	Розгляньте місцезнаходження сенсорів і точок доступу з урахуванням оптимізації шляху передачі даних. Мінімізуйте відстань і перешкоди між сенсорами і точками доступу для забезпечення найкращої швидкості передачі даних.

4	Логічна структура мережі	Побудова логічної структури мережі з урахуванням топології і архітектури. Використання в мережі декількох точок доступу та управляючих вузлів для забезпечення резервування та надмірності та збільшення пропускної здатності.
5.	Тестування і оптимізація	Тестування для перевірки швидкості передачі даних, затримки та інших показників QoS за потреби. Виявлення вузьких місць або обмежень.
6.	Моніторинг і підтримка	Після впровадження системи постійний моніторинг швидкості передачі даних і регулярне технічне обслуговування для підтримки оптимальної продуктивності мережі.

Аналіз вимог до швидкості передачі даних

Першим етапом побудови сенсорної мережі є аналіз вимог до швидкості передачі даних. На цьому етапі необхідно ретельно вивчити потреби системи щодо обсягу даних, які потрібно передавати. Це включає визначення максимальної кількості даних, які будуть передаватися одночасно, і частоти передачі. Важливо розуміти, які саме типи даних будуть передаватися, оскільки це впливає на вимоги до пропускної здатності мережі.

Другим аспектом аналізу є вивчення максимально допустимих затримок у передачі даних. Для деяких систем, наприклад, у реальному часі (реал-тайм), критично важливо мінімізувати затримки, щоб забезпечити своєчасну реакцію системи. Для інших систем затримки можуть бути менш критичними, але все одно важливими для стабільної роботи. Визначення цих вимог дозволяє краще планувати архітектуру мережі.

Третім ключовим аспектом є аналіз потреб у надійності передачі даних. Важливо врахувати можливість втрати даних і необхідність їх відновлення. Це може включати використання технологій корекції помилок і забезпечення резервування каналів зв'язку. Детальний аналіз вимог до швидкості передачі даних дозволяє побудувати ефективну і надійну сенсорну мережу.

Вибір сенсорів і комунікаційних протоколів

Другий етап включає вибір відповідних сенсорів і комунікаційних протоколів. Вибір сенсорів залежить від їх здатності забезпечити необхідну швидкість передачі даних і відповідати вимогам системи. Наприклад, для систем, що потребують високої точності даних і швидкості передачі, можуть бути обрані більш потужні та чутливі сенсори.

Комунікаційні протоколи також відіграють ключову роль у побудові сенсорної мережі. Вибір протоколу залежить від багатьох факторів, таких як дальність передачі даних, енергоспоживання, надійність та пропускна здатність. Наприклад, для передачі даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням може бути обраний протокол LoRa, тоді як для високошвидкісної передачі даних на короткі відстані підходять Wi-Fi або Bluetooth.

Також важливо враховувати сумісність обраних сенсорів і протоколів з іншими елементами мережі. Це допоможе уникнути проблем з інтеграцією та забезпечити ефективну роботу всієї системи. Правильний вибір сенсорів і комунікаційних протоколів є основою для побудови ефективної і стабільної сенсорної мережі.

Оптимальне розміщення сенсорів і точок доступу

Третій етап побудови сенсорної мережі включає оптимальне розміщення сенсорів і точок доступу. Це необхідно для забезпечення максимальної ефективності передачі даних. Важливо враховувати фізичні характеристики середовища, в якому буде розміщена мережа, такі як відстані між сенсорами, наявність перешкод (стіни, меблі, інші об'єкти) та інші фактори, що можуть впливати на якість сигналу.

Для мінімізації затримок і втрат даних сенсори повинні бути розміщені таким чином, щоб відстані між ними та точками доступу були якомога меншими. Це дозволяє знизити кількість перешкод і забезпечити стабільний сигнал. Використання моделей поширення сигналу та програмного забезпечення для планування мережі допомагає визначити оптимальні місця для розташування сенсорів і точок доступу.

Також важливо враховувати можливість масштабування мережі. Розміщення сенсорів і точок доступу повинно дозволяти легко додавати нові пристрої без значного впливу на продуктивність системи. Оптимальне розміщення компонентів мережі є ключовим для забезпечення її стабільної роботи і можливості подальшого розширення.

Логічна структура мережі

Четвертий етап побудови сенсорної мережі включає розробку її логічної структури. Це включає визначення топології мережі, яка може бути зіркоподібною, деревоподібною, сітчастою або іншого типу, залежно від вимог системи і умов експлуатації. Вибір топології впливає на загальну продуктивність мережі, її надійність та масштабованість.

У логічній структурі мережі важливо передбачити наявність декількох точок доступу та управляючих вузлів. Це забезпечує резервування і надмірність, що підвищує надійність мережі та дозволяє уникнути втрат даних у випадку відмови одного з елементів. Управляючі вузли можуть виконувати функції збору, обробки та передачі даних, що дозволяє розподілити навантаження між різними елементами мережі.

Забезпечення високої пропускної здатності мережі є ще одним ключовим аспектом на цьому етапі. Це включає оптимізацію маршрутів передачі даних, використання методів балансування навантаження та інших технологій для підвищення ефективності мережі. Правильна побудова логічної структури мережі є основою для її стабільної та ефективної роботи.

Тестування і оптимізація

П'ятий етап включає тестування та оптимізацію сенсорної мережі. Після побудови мережі необхідно провести ретельне тестування, щоб переконатися, що всі компоненти працюють відповідно до вимог. Це включає перевірку швидкості передачі даних, затримки, надійності з'єднань та інших показників якості обслуговування (QoS).

Під час тестування можуть бути виявлені вузькі місця або обмеження, що впливають на продуктивність мережі. Це можуть бути проблеми з пропускнуою здатністю, втратами даних або надмірними затримками. Виявлення таких проблем дозволяє внести необхідні корективи в конфігурацію мережі, щоб забезпечити її оптимальну роботу.

Оптимізація мережі включає налаштування параметрів передачі даних, використання методів балансування навантаження, зміну розташування сенсорів або точок доступу та інші заходи. Регулярне тестування та оптимізація дозволяють підтримувати високу продуктивність мережі і швидко реагувати на зміни умов експлуатації.

Моніторинг і підтримка

Останній етап побудови сенсорної мережі включає постійний моніторинг і підтримку її роботи. Після впровадження мережі необхідно забезпечити постійний моніторинг швидкості передачі даних, затримок, надійності з'єднань та інших важливих показників. Це дозволяє виявляти і реагувати на проблеми в режимі реального часу.

Регулярне технічне обслуговування також є ключовим аспектом підтримки мережі. Це включає оновлення програмного забезпечення, заміну або ремонт сенсорів і інших компонентів, перевірку і налаштування параметрів мережі. Регулярне обслуговування допомагає підтримувати оптимальну продуктивність мережі і запобігати виникненню серйозних проблем.

Постійний моніторинг і підтримка забезпечують стабільну і ефективну роботу сенсорної мережі протягом усього її життєвого циклу. Це дозволяє забезпечити високу якість обслуговування та задовольнити вимоги користувачів до швидкості і надійності передачі даних.

3.2. Структурно-логічна схема методу.

Структурно-логічна схема методу побудови сенсорної мережі є детальною дорожньою картою, яка визначає всі необхідні кроки і їх взаємозв'язки для створення ефективної сенсорної мережі. Ця схема допомагає систематизувати процес і забезпечити комплексний підхід до вирішення задачі. Основні етапи включають аналіз вимог, вибір сенсорів і протоколів, оптимальне розміщення компонентів, побудову логічної структури, тестування та моніторинг. Кожен з цих етапів має свої особливості і завдання, які потрібно виконати для досягнення кінцевої мети.

Перший етап, аналіз вимог до швидкості передачі даних, є фундаментальним для всієї подальшої роботи. На цьому етапі визначаються основні параметри системи, такі як обсяг даних, частота передачі, максимально допустимі затримки і вимоги до надійності. Ці вимоги формують основу для всіх подальших рішень щодо вибору технологій і методів побудови мережі. Аналіз вимог дозволяє точно розуміти, які характеристики повинні мати сенсори і які комунікаційні протоколи найбільше підходять для конкретної задачі.

Другий етап включає вибір сенсорів і комунікаційних протоколів. Вибір здійснюється на основі вимог, визначених на першому етапі. Тут важливо враховувати різні фактори, такі як енергоспоживання, дальність передачі, пропускна здатність і надійність. Вибрані сенсори і протоколи повинні забезпечувати необхідну швидкість передачі даних і відповідати умовам експлуатації. Цей етап є критичним для побудови надійної і ефективної сенсорної мережі.

Третій етап полягає в оптимальному розміщенні сенсорів і точок доступу. На цьому етапі визначаються фізичні місця розташування компонентів мережі з урахуванням мінімізації відстаней і перешкод між ними. Оптимальне розміщення дозволяє забезпечити найкращу якість сигналу і мінімізувати затримки. Врахування фізичних характеристик середовища, таких як наявність стін, меблів та інших перешкод, є важливим аспектом цього етапу. Використання

програмного забезпечення для моделювання мережі може суттєво допомогти в визначенні оптимальних місць розташування.

Четвертий етап включає побудову логічної структури мережі. Тут визначаються топологія мережі і її архітектура. Важливо обрати таку топологію, яка забезпечить необхідну пропускну здатність і надійність. Це може бути зіркоподібна, деревоподібна, сітчаста або інша топологія, залежно від конкретних вимог. Також передбачаються резервування і надмірність, щоб підвищити надійність і забезпечити безперебійну роботу мережі. Управляючі вузли розподіляють навантаження і забезпечують ефективне функціонування всієї системи.

П'ятий етап – це тестування і оптимізація мережі. Після побудови мережі проводяться детальні випробування для перевірки всіх параметрів, таких як швидкість передачі даних, затримки, надійність і якість обслуговування (QoS). Виявлені під час тестування проблеми вирішуються шляхом оптимізації налаштувань, зміни розташування компонентів або інших коригувальних заходів. Регулярне тестування і оптимізація дозволяють підтримувати високу продуктивність мережі і швидко реагувати на зміни в умовах експлуатації, забезпечуючи стабільну і ефективну роботу сенсорної мережі протягом всього її життєвого циклу.

Структурно-логічна схема розташування сенсорів у мережі методом k -середніх кластеризації (k -means clustering) є ефективним підходом для оптимізації розміщення сенсорів з метою забезпечення рівномірного покриття та мінімізації витрат на передачу даних. Цей метод полягає у розподілі сенсорів на k кластерів, де кожен кластер має свій центр або центроїд, що визначає оптимальне розташування сенсорів у цьому кластері. Вибір k залежить від конкретних вимог системи, таких як розмір території покриття та необхідна точність даних.

Першим кроком у застосуванні методу k -середніх є ініціалізація k центроїдів, які випадково розподіляються по території, що підлягає покриттю. На основі цих початкових центрів сенсори групуються у кластери залежно від

їхньої близькості до найближчого центроїда. Це дозволяє визначити початковий розподіл сенсорів по території. На цьому етапі важливо врахувати фізичні перешкоди та особливості середовища, що можуть впливати на якість зв'язку між сенсорами і центроїдами.

Після початкового розподілу сенсорів алгоритм k-середніх переходить до ітераційного процесу оновлення центрів кластерів. На кожному кроці обчислюються нові позиції центроїдів як середні значення координат сенсорів, що входять до кожного кластеру. Сенсори переназначаються до найближчих нових центрів, що може змінювати структуру кластерів. Цей процес повторюється до тих пір, поки позиції центроїдів не стабілізуються, і зміни у розподілі сенсорів стають мінімальними. Такий підхід дозволяє досягти оптимального розподілу сенсорів, що мінімізує загальну відстань між сенсорами і їх центроїдами.

Однією з переваг методу k-середніх є його гнучкість і здатність адаптуватися до різних умов. Метод може бути застосований до великих і складних територій, де необхідно забезпечити рівномірне покриття та мінімізувати витрати на передачу даних. Крім того, цей метод дозволяє враховувати специфічні вимоги системи, такі як потреби в енергозбереженні або необхідність мінімізації затримок. Алгоритм k-середніх може бути модифікований для врахування додаткових факторів, що робить його дуже універсальним інструментом.

Важливим аспектом використання методу k-середніх є його інтеграція з іншими методами оптимізації та планування мережі. Наприклад, після кластеризації сенсорів можна застосовувати методи маршрутизації для визначення оптимальних шляхів передачі даних від сенсорів до точок доступу. Це дозволяє створити комплексну і ефективну структуру сенсорної мережі, яка забезпечує високу продуктивність і надійність. Поєднання методу k-середніх з іншими підходами до побудови мережі дозволяє досягти оптимальних результатів і забезпечити стабільну роботу системи в різних умовах експлуатації.

Побудова сенсорної мережі за критерієм швидкості передачі даних чи за іншими критеріями вимагає ретельного планування, аналізу та налагодження для досягнення оптимальної продуктивності і ефективності системи. Одним за найважливішим пунктом тут можна виділити пункт «Оптимальне розміщення сенсорів і точок доступу згідно до критерію», який впливає на майбутнє функціонування, покращення та вартість мережі.

Розглянемо методику розміщення сенсорів, схема якої представлена на рис.1.

Спочатку визначається кількість кластерів K , які будуть мати головний вузол, що корегує роботу кластера, обирається критерій оптимізації (швидкість, енергоефективність). Під критерій оптимізації підбираються метрики мережі, які будуть враховані. Важливо визначити критерії останову, які вплинуть на точність та швидкість роботи методу.

Для початку роботи методу треба задати для кожного кластеру початкові точки центру мас.

Робота методу починається з розрахунку відстаней всієї точок кожного кластера до їх центроїдів Точка, яка найближча до центроїда призначається новим центром кластеру. Далі обчислюється новий центр мас точок, що належать до цього кластера. Якщо у порівнянні із попередньою ітерацією не змінились результати обчислень, то робота методу завершається

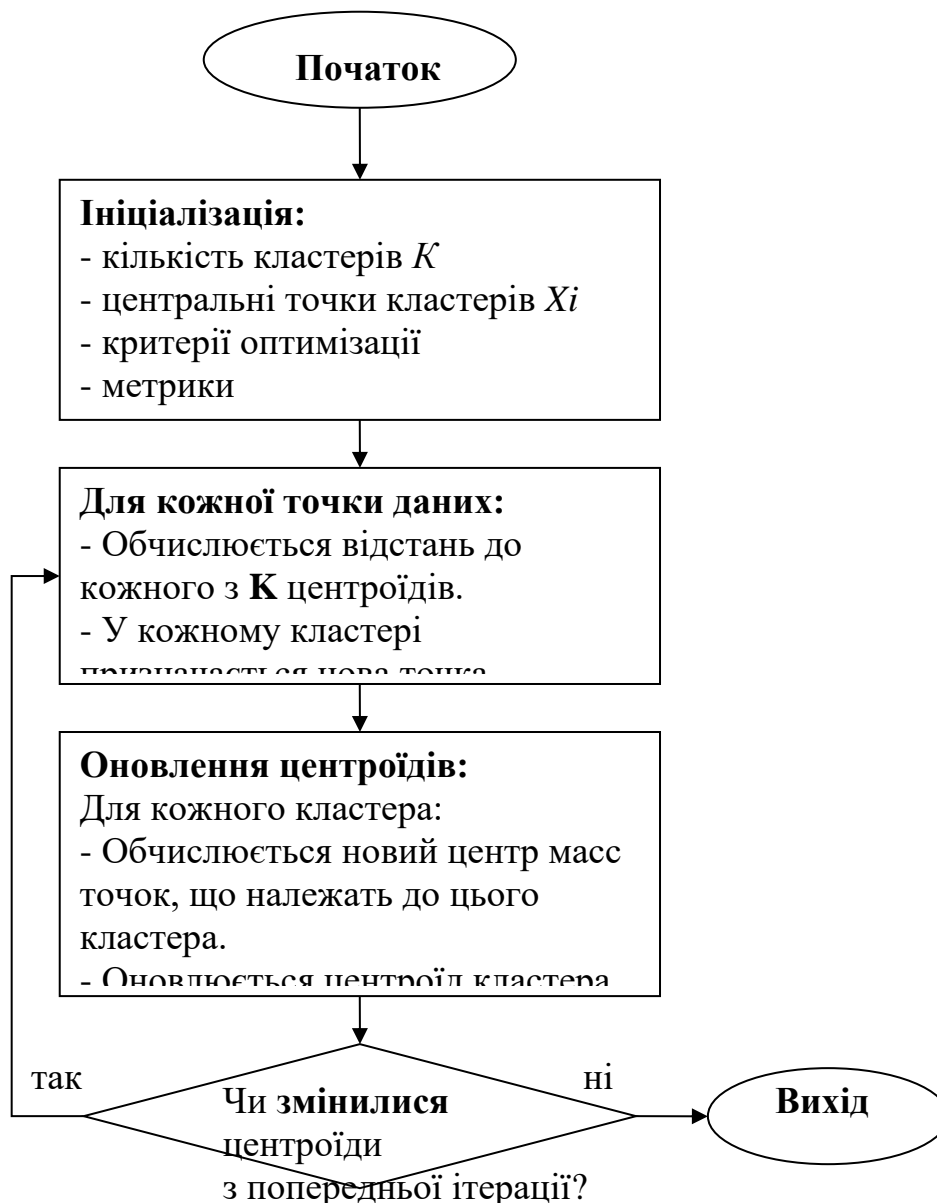


Рис. 3.1 – Схема методу побудови топології сенсорної мережі

3.3. Аналіз результатів.

Метод k -середніх кластеризації (k -means clustering) є потужним інструментом для оптимізації розміщення сенсорів у мережі. Цей підхід дозволяє структурувати розташування сенсорів таким чином, щоб забезпечити рівномірне покриття території, мінімізувати енергоспоживання та підвищити ефективність передачі даних. Методика базується на ітеративному процесі, який покращує початкове розташування сенсорів шляхом переміщення центроїдів кластерів до

оптимальних позицій, забезпечуючи таким чином мінімальні загальні витрати на зв'язок між сенсорами та центроїдами.

Перший етап методу k -середніх полягає в ініціалізації k центрів кластерів або центроїдів, які випадково розміщуються по території. Вибір кількості кластерів k визначається залежно від розміру та специфічних вимог системи. Після початкового розподілу сенсори групуються у кластери на основі їх близькості до найближчого центроїда. Цей розподіл може бути скорегований з урахуванням фізичних перешкод і особливостей середовища, таких як стіни або інші об'єкти, які можуть впливати на якість сигналу.

Ітераційний процес оновлення центрів кластерів є ключовим етапом методу k -середніх. На кожному кроці алгоритму обчислюються нові позиції центроїдів як середні значення координат сенсорів, що входять до кожного кластеру. Після цього сенсори переназначаються до найближчих нових центрів. Цей процес повторюється до тих пір, поки позиції центроїдів не стабілізуються, і зміни у розподілі сенсорів стають мінімальними. Такий підхід дозволяє досягти оптимального розподілу сенсорів, що мінімізує загальну відстань між сенсорами і їх центроїдами.

Перевага методу k -середніх полягає в його здатності забезпечити рівномірне покриття території сенсорами. Це особливо важливо для великих і складних територій, де необхідно гарантувати, що жодна область не залишиться без належного моніторингу. Рівномірний розподіл сенсорів також сприяє зменшенню витрат на передачу даних і покращенню загальної ефективності мережі.

Енергоспоживання є ще одним критичним фактором, який можна оптимізувати за допомогою k -середніх кластеризації. Оптимальне розташування сенсорів знижує необхідність у передачі даних на великі відстані, що зменшує енергоспоживання і продовжує термін служби батарей сенсорів. Це особливо важливо для бездротових сенсорних мереж, де енергозбереження є ключовим аспектом.

Метод k -середніх також дозволяє враховувати специфічні вимоги системи, такі як мінімізація затримок у передачі даних. Оскільки алгоритм оптимізує розташування сенсорів, він знижує середню відстань між сенсорами і центроїдами, що, в свою чергу, зменшує час передачі даних. Це особливо корисно для додатків, які вимагають передачі даних у реальному часі або з мінімальними затримками.

Оцінка результатів методу k -середніх включає аналіз стабільності позицій центроїдів після завершення ітерацій. Стабільні позиції вказують на те, що алгоритм досяг оптимального розподілу сенсорів. Також важливо оцінити якість кластеризації, використовуючи метрики, такі як середня відстань від сенсорів до центроїдів, загальна енергоспоживання мережі і час передачі даних.

Крім того, інтеграція методу k -середніх з іншими технологіями оптимізації та планування мережі може ще більше підвищити ефективність. Наприклад, після визначення оптимальних позицій сенсорів можна застосовувати методи маршрутизації для визначення найкращих шляхів передачі даних до точок доступу. Це дозволяє створити комплексну структуру мережі, яка забезпечує високу продуктивність і надійність.

Метод k -середніх також може бути адаптований для різних умов експлуатації. Наприклад, у динамічних середовищах, де розташування перешкод може змінюватися, алгоритм може бути перезапущений для оновлення позицій центроїдів, забезпечуючи тим самим адаптивність мережі. Це робить метод дуже гнучким і здатним до адаптації до змінних умов.

Загалом, метод k -середніх кластеризації є ефективним інструментом для побудови сенсорних мереж. Він забезпечує рівномірне покриття території, оптимізацію енергоспоживання і мінімізацію затримок у передачі даних. Аналіз результатів, інтеграція з іншими методами і можливість адаптації до змінних умов роблять цей метод дуже універсальним і корисним для широкого спектра додатків у сенсорних мережах.

3.4. Висновки.

Метод є ітеративним, що означає, що він повторюється, поки не досягне конвергенції (тобто центроїди не змінюються більше). Метод може бути як точним, так і приблизним, якщо задати мінімальну точність розрахунку, що може прискорити роботу. Кожна точка даних буде призначена до одного з K кластерів, центроїди представляють центри кожного кластера.

4. ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ШЛЯХОМ СИМУЛЯЦІЇ У СЕРЕДОВИЩІ OMNeT

4.1 Мета та задачі впровадження

Дослідження методів обслуговування черг у вузлах локальної мережі кампусу шляхом симуляції у середовищі OMNeT++ обґрунтовано необхідністю оптимізації мережевого трафіку в сучасних освітніх установах. Ефективне управління чергами пакетів дозволяє покращити якість обслуговування користувачів, зменшити затримки та підвищити пропускну здатність мережі, що є критично важливим в умовах зростаючого обсягу даних та кількості підключених пристроїв. Використання OMNeT++ як інструменту симуляції надає можливість детально змоделювати різні сценарії, оцінити продуктивність методів і визначити найкращі практики для реального впровадження у мережу кампусу.

Сучасні методи обслуговування черг включають кілька основних підходів: FIFO (First In, First Out), який обробляє запити у порядку їх надходження, забезпечуючи справедливий доступ до ресурсів; LIFO (Last In, First Out), що обслуговує останній надісланий запит першим, оптимальний для систем, де новіші запити мають вищий пріоритет; Round Robin, який циклічно розподіляє ресурси між запитами, надаючи рівний час обслуговування кожному; та Priority Queuing, що надає пріоритет запитам на основі їх важливості, дозволяючи критично важливим даним бути обробленими швидше. Розглянемо переваги та недоліки методів, запропонованих у попередніх главах, що робить їх придатними для різних сценаріїв та вимог мережевих систем.

OMNeT++ — це потужне, модульне середовище симуляції для моделювання комунікаційних мереж, яке використовується у дослідницьких і освітніх цілях. Воно підтримує створення гнучких і масштабованих моделей мережевих протоколів та архітектур за допомогою компонентного підходу, що

дозволяє легко налаштовувати та розширювати моделі. OMNeT++ пропонує зручний графічний інтерфейс для візуалізації та аналізу результатів симуляції, а також інтеграцію з іншими інструментами для обробки даних. Завдяки своїй відкритій архітектурі та активній спільноті розробників, OMNeT++ є популярним вибором для проведення детальних мережових досліджень та навчання.

Метою дослідження є оптимізація процесів обслуговування черг у вузлах локальної мережі кампусу для підвищення ефективності використання мережових ресурсів та покращення якості обслуговування користувачів. Для досягнення цієї мети необхідно оцінити різні методи обслуговування черг шляхом симуляції у середовищі OMNeT++, визначити їх вплив на продуктивність мережі та вибрати найефективніший підхід.

Основними завданнями дослідження є: 1) аналіз сучасних методів обслуговування черг, 2) розробка моделі мережі кампусу у середовищі OMNeT++, 3) реалізація вибраних методів обслуговування черг у симуляційній моделі, 4) проведення симуляцій для різних сценаріїв мережевого трафіку, 5) аналіз результатів симуляцій та порівняння ефективності методів, 6) надання рекомендацій щодо найкращого методу для впровадь.

4.2 Оптимізація за обраним критерієм

Зазвичай критеріями ефективності методів обслуговування черг є: середня затримка пакетів, пропускна здатність мережі, рівень втрат пакетів, справедливість у розподілі ресурсів та обчислювальна складність реалізації методу. У роботі розглянуто альтернативні методи управління дисципліною обслуговування черг, зокрема методи управління обслуговуванням черг, що використовують підхід Round Robin. Ці методи вдосконалені з урахуванням таких критеріїв: середня довжина черг з урахуванням пріоритетів, середня

очікувана тривалість перед початком обслуговування, середня кількість черг, довжина яких перевищує критичний рівень.

Аналіз цих показників дозволить об'єктивно оцінити продуктивність кожного методу та визначити найбільш оптимальний підхід для використання у реальній мережі кампусу.

Мережна топологія кампусу (Рис.1) включає основні вузли, такі як центральний маршрутизатор, кілька рівнів комутаторів, бездротові точки доступу та кінцеві пристрої, які підключаються до мережі. Центральний маршрутизатор з'єднується з інтернетом і розподіляє трафік через комутатори, організовані в ієрархічній структурі, забезпечуючи зв'язок між різними сегментами мережі, такими як навчальні корпуси, бібліотеки та лабораторії. Ця топологія забезпечує масштабованість і надійність мережі, дозволяючи ефективно обслуговувати великий обсяг користувачів і пристроїв.

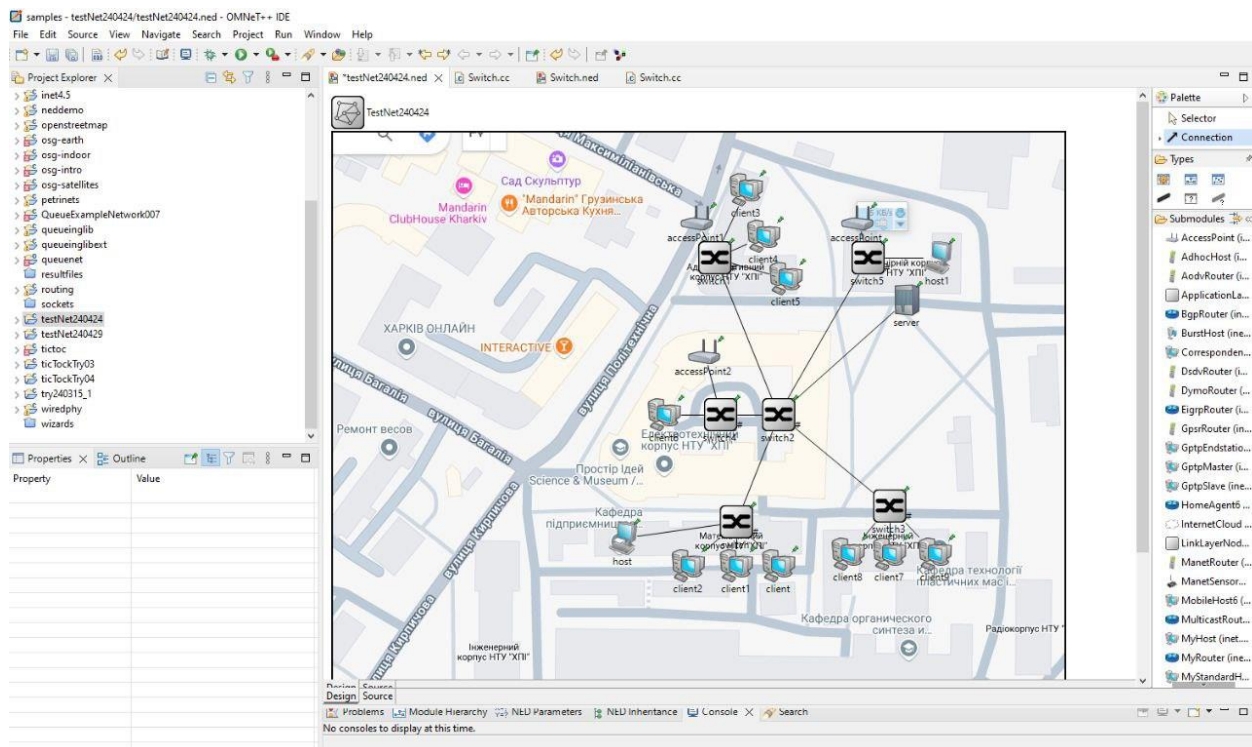


Рис.4.1. Модель спрощеної мережної топології кампусу у симуляторі Omnet++

Вузли мережі включають маршрутизатори, комутатори та точки доступу, кожен з яких виконує специфічні функції у мережі. Для налаштування черг у

кожному вузлі використовуються методи обслуговування черг за критеріями середня довжина черг з урахуванням пріоритетів, середня очікувана тривалість перед початком обслуговування, середня кількість черг, довжина яких перевищує критичний рівень. Черги налаштовуються для управління трафіком, щоб зменшити втрати та затримки пакетів. Наприклад, у маршрутизаторах та комутаторах налаштовуються черги для різних типів трафіку, що дозволяє пріоритизувати критично важливі пакети та забезпечити стабільну роботу мережевих сервісів.

Для симуляції обрано різноманітні сценарії, що відображають реальні умови експлуатації мережі кампусу, включаючи пікові навантаження під час занять, перерв та вечірніх годин. Сценарії включали різні типи трафіку, такі як потокове відео, веб-серфінг, завантаження великих файлів та VoIP, що дозволило оцінити ефективність методів обслуговування черг у різних умовах мережевої активності.

4.3 Порівняльні графіки

Для кожного вибраного методу обслуговування черг проводилися симуляції на моделі мережі кампусу. Запуски симуляцій виконано для всіх сценаріїв трафіку, що дозволило детально оцінити продуктивність кожного методу у різних умовах.

Під час симуляцій збиралися дані про ключові показники ефективності, такі як довжина черги (рис.2, рис.3) середня затримка пакетів, пропускна здатність, рівень втрат пакетів та справедливість розподілу ресурсів. Зібрані дані збережено для подальшого аналізу та порівняння методів обслуговування черг. Використання систем зберігання та обробки даних дозволило легко візуалізувати результати та зробити обґрунтовані висновки щодо оптимальних методів для мережі кампусу.

Для одного вузла мережі при однаковому рівні навантаження отримано графіки щодо середньої довжини черги для різних режимів обслуговування: за

алгоритмом WFQ та за критерієм середня довжина черги, який мінімізується (Рис.2).

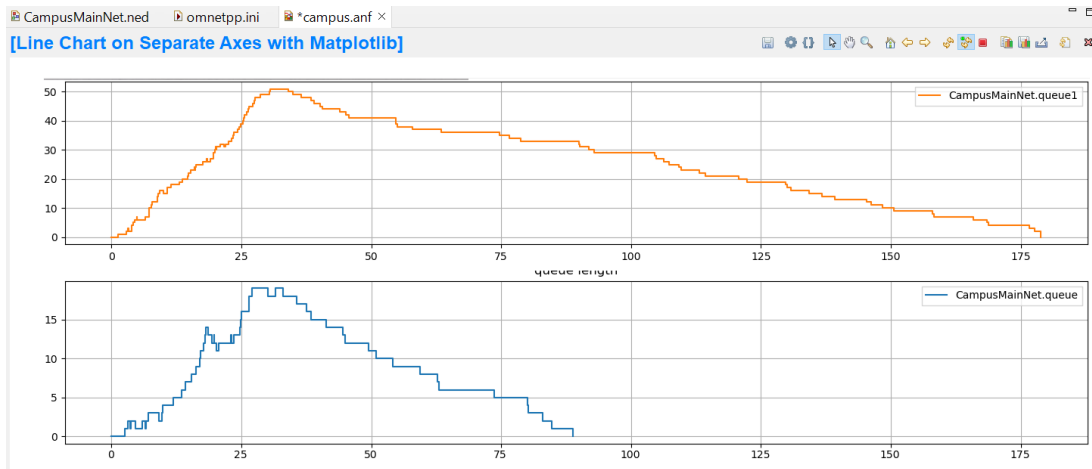


Рис.4.2. а) Довжина черги у вузлі з обслуговуванням за алгоритмом WFQ
б) Довжина черги у вузлі за критерієм середня довжина черги, який мінімізується

Тут у першому випадку більший розмір довжини черги значно підвищує середній час очікування пакетами обслуговування, хоча у незначній мірі знижується втрати пакетів. Тому для мультимедійних даних значно корисніше буде управління за критерієм середньої довжини черги. На рис 3 наведено об'єднаний порівняльний графік.

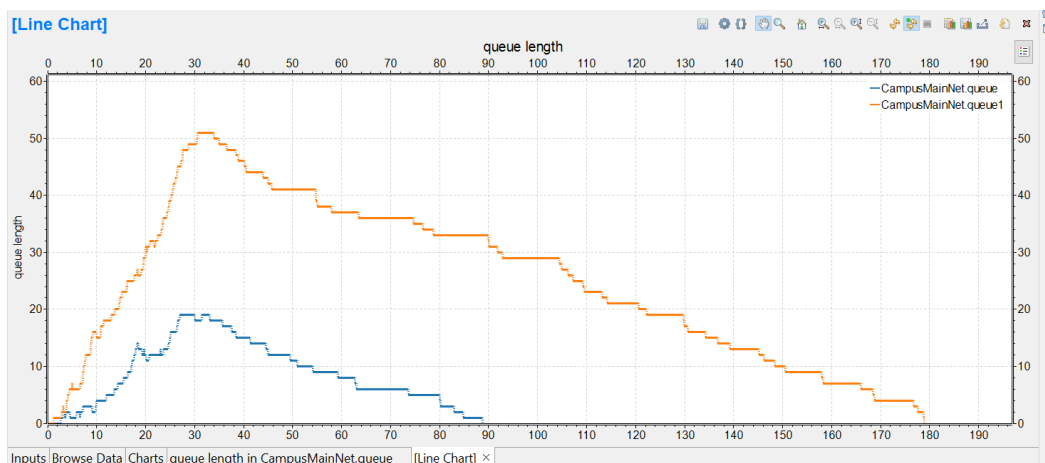


Рис.4.3. Зведений графік довжини черги за алгоритмом WFQ та за критерієм середня довжина черги, який мінімізується

4.4 Висновки

Зібрані під час симуляцій дані оброблялись з використанням статистичних методів для обчислення середніх значень, стандартних відхилень та інших релевантних показників. Візуалізація даних здійснювалась за допомогою графіків і діаграм, що наочно демонструють порівняння результатів для різних методів обслуговування черг. Це дозволило чітко побачити вплив кожного методу на показники продуктивності мережі.

Порівняння ефективності методів обслуговування черг базується на аналізі ключових показників, таких як середня затримка пакетів, пропускна здатність, рівень втрат пакетів та справедливість розподілу ресурсів. Використовуючи візуалізовані дані, проводилась оцінка переваг та недоліків кожного методу у різних сценаріях трафіку, що допомагає визначити їх відповідність специфічним вимогам мережі кампусу.

На основі порівняльного аналізу, визначено переваги запропонованих методів обслуговування черг, які забезпечують найкращий баланс між затримкою, пропускною здатністю, рівнем втрат пакетів та справедливістю розподілу ресурсів. Оптимальність методів міститься у тому, щоб задовольняти вимоги мережі кампусу щодо ефективності та надійності, забезпечуючи стабільну роботу мережевих сервісів та якість обслуговування користувачів у різних умовах навантаження.

Дослідження показало, що різні методи обслуговування черг мають суттєвий вплив на продуктивність мережі кампусу. Симуляції у середовищі OMNeT++ дозволили порівняти методи FIFO, LIFO, Round Robin та Priority Queuing за ключовими показниками, такими як середня затримка пакетів, пропускна здатність та рівень втрат пакетів. Виявлено, що метод Priority Queuing забезпечує найкращі результати у сценаріях з високим навантаженням, мінімізуючи затримки для критично важливих пакетів.

На основі проведеного аналізу рекомендується впровадити метод Priority Queuing у вузлах локальної мережі кампусу. Цей метод забезпечує

найефективніше управління трафіком, особливо в умовах високого навантаження, завдяки пріоритетному обслуговуванню важливих пакетів. Для успішного впровадження слід налаштувати пріоритети відповідно до типів трафіку, забезпечивши належну конфігурацію мережевих пристроїв.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на адаптацію та вдосконалення методів обслуговування черг з використанням машинного навчання для динамічного управління пріоритетами трафіку. Крім того, варто дослідити вплив комбінованих методів, які об'єднують переваги декількох підходів, на продуктивність мережі у різних сценаріях навантаження та типах трафіку.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було розглянуто метод побудови сенсорної мережі на базі кластеризації за критерієм швидкість передачі даних. Основною метою роботи було розробити і оптимізувати структуру сенсорної мережі, яка забезпечувала б високий рівень швидкості передачі даних при мінімізації затримок і енергоспоживання. В ході дослідження було здійснено кілька важливих кроків, що дозволили досягти поставленої мети.

Метод кластеризації k-середніх був обраний як основний підхід до розподілу сенсорів у мережі. Цей метод дозволяє ефективно розподіляти сенсори по території, забезпечуючи рівномірне покриття і оптимальну відстань між сенсорами та їхніми центроїдами. За допомогою ітеративного процесу оновлення центрів кластерів вдалося досягти стабільних і оптимальних позицій сенсорів, що суттєво покращило продуктивність мережі.

Однією з головних переваг застосування методу k-середніх є можливість зниження загальних витрат на передачу даних. Оптимальне розміщення сенсорів сприяє зменшенню середньої відстані передачі даних, що, в свою чергу, знижує енергоспоживання і подовжує термін служби батарей сенсорів. Це є критично важливим фактором для бездротових сенсорних мереж, де ресурс батареї є обмеженим.

Метод кластеризації також дозволяє мінімізувати затримки в передачі даних. Завдяки оптимальному розташуванню сенсорів і центроїдів, середній час передачі даних зменшується, що особливо важливо для додатків, які вимагають швидкої обробки інформації у реальному часі. Це забезпечує високу якість обслуговування (QoS) і надійність роботи мережі.

Інтеграція методу кластеризації з іншими технологіями, такими як маршрутизація і управління енергоспоживанням, дозволяє створити комплексну і ефективну структуру сенсорної мережі. Використання декількох точок доступу і управляючих вузлів підвищує надійність мережі і забезпечує резервування на

випадок відмови окремих компонентів. Це робить мережу більш стійкою до збоїв і здатною підтримувати високу продуктивність у різних умовах експлуатації.

Висока адаптивність методу k-середніх дозволяє ефективно реагувати на зміни у фізичному середовищі і вимогах системи. У динамічних умовах, де розташування перешкод може змінюватися, алгоритм може бути перезапущений для оновлення позицій центроїдів, що забезпечує постійне оптимальне розташування сенсорів. Це робить метод дуже гнучким і здатним до адаптації до змінних умов.

Загалом, результати дослідження показали, що метод побудови сенсорної мережі на базі кластеризації за критерієм швидкість передачі даних є ефективним і перспективним підходом. Він дозволяє забезпечити високу швидкість передачі даних, мінімізувати затримки і енергоспоживання, а також підвищити надійність і продуктивність мережі. Отримані результати можуть бути успішно застосовані у різних галузях, де необхідно створити ефективні і надійні сенсорні мережі.

На основі проведених досліджень і отриманих результатів, метод k-середніх можна рекомендувати для впровадження у практичні проекти з побудови сенсорних мереж. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення алгоритму з урахуванням специфічних вимог окремих додатків і розширення можливостей методу для ще більшої ефективності і надійності сенсорних мереж.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Іен Ф. Алімічанді та Г. Мадху Судан Редді Сенсорні мережі: концепції, алгоритми та протоколи / John Wiley & Sons: 2020, - 720с
2. Камілі В. Томім, Ібрагім Х. Абу-Салих, Мухаммад Алі і Х. Мухаммед Баба Сенсорні мережі та Інтернет речей: основи, виклики та можливості / CRC Press: 2017, - 544с
3. Ченг-Лян Ліоу, Ван-Ген Чен і Чен-Тін Хо Маршрутизація та управління ресурсами в сенсорних мережах / CRC Press: 2016. – 480с
4. Янгуо Фенг, Дацин Ли, Сушант Кумар Сінха і Сюейнг Сюе Обробка даних та аналітика в сенсорних мережах / Springer: 2014, - 448с
5. Прабхакарадипта Бакші, Дебаджит Сінгх, Сухасіні Сінгх Адаптивні сенсорні мережі: моделі та алгоритми / Springer: 2019, - 380с
6. Хосейн Сарасват, Мохаммад Сайед Хоссейн, Абдулла Фарук Сенсорні мережі: принципи, протоколи та застосування / Elsevier: 2018, - 520с
7. Анастасі Іларія, Марко Конті, Андреа Пассарелла Безпроводні сенсорні мережі: технології та стандарти / Wiley-IEEE Press: 2011, - 336с
8. Джеффри А. Харті, Мохаммад Х. Шамсі Сучасні підходи до управління енергією у сенсорних мережах / Taylor & Francis: 2016, - 460с
9. Зіад Мохаммад, Ільяс Аїсса Хамуд Енергоефективність у сенсорних мережах: оптимізація та застосування / Academic Press: 2015, - 398с
10. Сунаіл Гупта, Арвінд С. Рана Сенсорні мережі для Інтернету речей: архітектури, протоколи та застосування / Springer: 2019, - 500с
11. Педро Дж. Мендес, Карлос А. Сильва Програмування бездротових сенсорних мереж / Wiley: 2017, - 416с
12. Санджів Дж. Патель, Прабхджіт С. Сандху Безпека в сенсорних мережах: проблеми та рішення / CRC Press: 2018, - 460с
13. Антоніо Браз, Фернандо Гарсія А. Обробка сигналів у сенсорних мережах / Springer: 2016, - 432с

14. Нараян П. Нагам, Тінженг Лі, Хан Сунг Лі Чутливість та точність у сенсорних мережах / Elsevier: 2017, - 488с
15. Хіросі Хошіно, Такеші Шінода Мобільні сенсорні мережі: концепції, алгоритми та інфраструктури / John Wiley & Sons: 2020, - 340с
16. Раджив Дж. Махешварі, Рамеш К. Сенду Безпроводні сенсорні та актуаторні мережі: архітектура та алгоритми / CRC Press: 2015, - 580с
17. Анкуш К. Джоші, Рахул С. Патіл Аналіз та оптимізація продуктивності в сенсорних мережах / Springer: 2018, - 410с
18. Фредді Б. Рамос, Ліса М. Вільямс Інтелектуальні сенсорні мережі: інтеграція з великими даними / Wiley: 2019, - 450с
19. Ханс Г. Мюллер, Ерік Р. Джонсон Статистичний аналіз та моделювання в сенсорних мережах / Taylor & Francis: 2016, - 490с
20. Даніель Л. Сандерс, Келлі Дж. Мартін Удосконалення алгоритмів маршрутизації для сенсорних мереж / Elsevier: 2017, - 470с
21. Жан-Марк Адрієн, Габріель С. Фонтана Оптимізація ресурсів у сенсорних мережах / Academic Press: 2018, - 400с
22. Тобіас Г. Вільямс, Мігель А. Лопес Довговічність та надійність у сенсорних мережах / Springer: 2019, - 430с
23. Морган С. Робертсон, Емілі К. Шей Масштабованість та адаптивність у сенсорних мережах / Wiley-IEEE Press: 2020, - 380с
24. Ксав'єр Л. Фернандес, Річард К. Джонсон Концептуальні підходи до розвитку сенсорних мереж / CRC Press: 2015, - 560с
25. Амар Р. Шах, Лайла С. Джонс Інтелектуальні сенсорні мережі та машинне навчання / Springer: 2020, - 450с
26. Лоренс Х. Кінг, Мелані С. Девіс Мережі наступного покоління: сенсорні мережі для розумних міст / Elsevier: 2019, - 510с