

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій КРАВЧУК

(підпис)

(Ім'я, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка.

(код і назва)

За освітньо-професійною програмою Інженерія та програмування інфокомунікацій.

на тему: Розвиток методів підвищення пропускної здатності в мобільних сенсорних мережах

Виконала: студентка 2 курсу, групи ТЗ – 91 мп

(шифр групи)

Бобер Анастасія Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник д.т.н., проф. каф. телекомунікацій Лисенко О.І.

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

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

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

(підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2020 рік

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут телекомунікаційних систем

( повна назва )

Кафедра телекомунікацій

( повна назва )

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою Інженерія та програмування інфокомунікацій.

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Явіся В.С.

(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Бобер Анастасії Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Розвиток методів підвищення пропускної здатності в мобільних сенсорних мережах \_\_\_\_\_

науковий керівник дисертації д.т.н., проф., проф. каф. телекомунікацій Лисенко О.І.,

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

затверджені наказом по університету від «\_3\_» «листопада» 2020 р. № 3208-с

2. Строк подання студентом дисертації 12.12.2020

3. Об'єкт дослідження мобільні сенсорні мережі

4. Предмет дослідження методи підвищення пропускної здатності в мобільних сенсорних мережах

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

1. Проаналізувати існуючі способи підвищення пропускної здатності

2. Створити математичну модель на основі обраного методу
3. Розробити стартап-проект
4. Зробити висновки

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

Слайд №1 Тема

Слайд №2 Мета, актуальність, предмет та об'єкт дослідження, задачі

Слайд №3 Математична модель для обчислення співвідношення пропускної здатності для кожного вузла датчика в мережі

Слайд №4 Підвищення параметрів QoS в МСМ на основі спіральної кластерної архітектури з використанням протоколу TDMA

Слайд №5 Запропонований підхід обчислення довжини суперкадра

Слайд №6 Зв'язок між щільністю мережі та пропускною здатністю

Слайд №7 Зв'язок між довжиною суперкадра, раундом і розміром пакета

Слайд №8 Результати аналізу стартап-проекту

Слайд №9 Висновки

7. Орієнтовний перелік публікацій

1. Бобер А. С., Лисенко О.І. ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ TDMA Наукові праці Другої міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», 19 грудня 2019 р. (Київ, Україна). НУХТ, 2019.

2. Бобер А. С., Петрова В.М. РОЗВИТОК СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ . XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій» ПТ-2019: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С . 305-307 . ISSN (print) 2663-502X

3. Бобер А. С., Лисенко О.І. ЗАДАЧА ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ ІЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ АЕРОПЛАТФОРМАМИ (МСМ ІЗ ТА) Матеріали тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції, 11 – 12 квітня 2019 року. - Київ : ДУТ, НТУ; Полтава: ПНТУ; Катовице: КЕУ; Париж: Університет Париж VII Венсент-Сен-Дені; Вільнюс: ВДТУ; Харків : ХНДІТМ: Білорусь: БДАЗ, 2018. – с. 198

## 8. Консультанти розділів дисертації

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

## 9. Дата видачі завдання 3.10.19 р.

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Пошук літератури	4.10.19 - 23.11.19	Виконано
2	Вивчення рекомендованої/знайденої літератури	24.11.19 - 27.01.20	Виконано
3	Дослідження методів підвищення пропускнуої здатності	28.01.20 - 3.03.20	Виконано
4	Розробка методу підвищення пропускнуої здатності на основі протоколу TDMA	04.03.20 - 07.04.20	Виконано
5	Розробка методу підвищення пропускнуої здатності на основі спіральної кластерної архітектури з використанням протоколу TDMA з агрегацією даних	08.04.20 - 03.09.20	Виконано
6	Математична модель	04.09.20 - 21.10.20	Виконано
7	Розробка стартап-проекту	22.10.20 - 17.11.20	Виконано
8	Підведення підсумків	18.11.20 - 25.11.20	Виконано

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Бобер А. С.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

Лисенко О. І.

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить: 80 сторінок, 12 малюнків, 24 таблиці, 27 посилань.

Метою данної роботи є проаналізувати методи підвищення пропускної здатності в мобільних сенсорних мережах.

МСМ взагалі можна описати як мережу вузлів, котрі взаємодіють і можуть контролювати навколишнє середовище, забезпечуючи взаємодію між особами або комп'ютерами і навколишнім середовищем. Вузли датчиків контролюють зібрані дані для передачі разом з іншими вузлами сенсора шляхом стрибка. Під час передачі дані, що підлягають моніторингу, можуть оброблятися кількома вузлами для доступу до вузла шлюзу після множинного маршрутизації та, нарешті, досягають вузла керування через Інтернет або супутник.

Ключові слова: мобільна сенсорна мережа, протокол, пропускна здатність, телекомунікаційна система.

## **ABSTRACT**

The diploma work consists of 80 pages, 12 figures, 24 table and 27 references.

The purpose of this work is to analyze methods of increasing bandwidth in mobile sensor networks.

The mobile sensor network can generally be described as a network of interacting nodes that can control the environment by providing interactions between individuals or computers and the environment. The nodes of the sensors control the collected data for transmission along with other nodes of the sensor by jumping. During transmission, the data to be monitored can be processed by multiple nodes to access the gateway node after multiple routing, and finally reach the control node via the Internet or satellite.

Keywords: mobile sensor network, protocol, bandwidth, telecommunication system.

**Пояснювальна записка  
до магістерської дисертації**

на тему: Розвиток методів підвищення пропускної здатності в мобільних  
сенсорних мережах

Київ – 2020 року

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ .....	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МСМ .....	13
1.1 Алгоритм розташування LBSC для вирішення проблем кластеризації в МСМ .....	14
1.2 Розділення смуги пропускання між різними пріоритетними передачами за допомогою модифікацій рівня MAC .....	20
1.3 Розподілу і перенастроювання доступної смуги пропускання шляхом проектування і універсального аналізу МСМ .....	25
РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ TDMA НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОЇ МОБІЛЬНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ.....	30
2.1 Проблеми розміщення мереж .....	32
2.2 Розподіл пропускної здатності в протоколі TDMA.....	32
2.3 Моделювання МСМ на основі протоколу TDMA і визначення .....	33
2.4 Розподіл пропускної здатності .....	37
2.5 Зв'язок між щільністю мережі та смугою пропускання .....	38
2.6 Взаємозв'язок між довжиною суперкадра, раундом і розміром пакета .....	39
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ПІДВИЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ QoS В МСМ НА ОСНОВІ СПІРАЛЬНОЇ КЛАСТЕРНОЇ АРХІТЕКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ TDMA.....	42
3.1. Модель системи і визначення .....	43
3.2. Постановка проблеми і позначення.....	44
3.3. Обчислення довжини суперкадра.....	45
3.4. Попередній пропонований підхід.....	48
3.5. пропонований підхід .....	48
3.6. Розподіл пропускної здатності .....	49
3.7. Мережева затримка .....	50
3.8. Дослідження продуктивності .....	51
3.8.1. Щільність мережі проти пропускної здатності.....	51
3.8.2. Довжина суперкадра і раунду в залежності від розміру пакета .....	53



РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	56
4.1 Опис основної ідеї проекту .....	56
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	59
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	60
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	68
4.5 Розроблення маркетингової програми проекту .....	72
ВИСНОВОК .....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	77

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

MCM – мобільна сенсорна мережа

QoS – quality of service

TDMA – Time Division Multiple Access

ГК – голова кластера

ЧК – член кластера

MDC – modification detection code

LBSC – location-based spiral clustering

MAC – media access control

SBCDA – spiral-based clustered data aggregation

TBCDA – tree-based clustered data aggregation

DN – decision node

LEACH – Low-energy adaptive clustering hierarchy

CPS – кібер фізичні системи

## ВСТУП

Мобільні сенсорні мережі (МСМ) складаються з окремих вузлів, які здатні взаємодіяти з навколишнім середовищем шляхом моніторингу або зондування фізичних параметрів. Однак ці датчики розгортаються випадковим чином і у великих масштабах, що створює величезну кількість надлишкових сприйнятих даних, які насичують мережу ресурсів і споживають енергію вузлів. Для того щоб зменшити кількість переданих пакетів до потокового вузла даних агрегація може бути ефективною технікою, яка є критично важливою функцією МСМ.

Основна мета алгоритмів агрегування даних полягає у збиранні та агрегуванні даних енергоефективним таким чином що термін служби мережі і пропускна здатність зарезервована для кожен вузла збільшуються. Усунення колізій та простою при прослуховуванні в мережі є вирішальним питанням, яке вирішується за допомогою використання детермінованих протоколів доступу таких як TDMA, які є більш енергоефективними, оскільки вузли в мережі можуть переходити в неактивні стани, поки їм не буде призначено час слоту.

У цій роботі представлено підхід з використанням спіральної кластерної архітектури МСМ з агрегацією даних, що поєднує агрегування даних з протоколом TDMA у МСМ для вдосконалення зв'язку та уникнення міжкластерних колізій та збільшення пропускної здатності, зарезервованої для кожного вузла, обчислюючи довжина суперкадру, що генерується усіма вузлами у мережі.

Через потенційне використання в обороні та широке поширення в комерційних та наукових програмах, МСМ стають активною темою досліджень, де датчики - це пристрої з зондування та обробки даних в мобільній мережі. Вони можуть автоматично збирати інформацію та повідомляти про вимірювання кінцевий вузол. Нещодавно багато мобільних сенсорних мереж було розроблено і розгорнуто для різноманітних додатків.

Додатки МСМ зазвичай використовують ієрархічні підходи для агрегування даних, що генеруються вузлами. Це допомагає зменшити обчислювальне навантаження та надмірність даних для споживання енергії.

Для підтримки такого агрегування даних або топології управління мережею, вузли можуть бути розділені на невеликі групи - кластери. Кластеризація розглядається як ефективний підхід до організації мережі в пов'язану ієрархію.

У МСМ передані дані від датчиків до кінцевого вузла можуть передаватися різними шляхами. Доступна пропускна здатність в мережі буде розподілена, і час відгуку стане дуже довгим. Додатки реального часу з використанням МСМ чутливі до пропускної здатності та потребують більшої пропускної здатності для задоволення вимог.

## РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ MCM

Dawood K та ін. [6] вирішили проблему розподілу і перенастроювання доступної смуги пропускання шляхом проектування і універсального аналізу мобільних сенсорних мереж. Запропонована структура використовує імовірнісні і компонентні принципи проектування для моделювання і аналізу MCM; при збереженні гнучкості і точності.

Pengye X. та ін. [7] досліджують питання про те, як розподілити пропускну здатність, щоб максимізувати загальне задоволення користувачів, сформулювавши це як проблему оптимізації з метою максимального збільшення пропускну здатності з урахуванням неефективності кодування через MDC.

Проблема своєчасного виявлення подій MCM вирішена в [8]. Nastasi C. та ін – запропонували в реальному часі механізм розподілу пропускну здатності для IEEE 802.15.4, який максимізує ефективність виявлення подій і знижує статистичну невизначеність в умовах перевантаження мережі. Он-лайн стратегії доповнюють офлайн-гарантії для підвищення рівня достовірності вимірювань. Пропонується алгоритм розподіленої стискаючої розрідженої вибірки. для агрегації даних з метою вирішення проблеми відновлення n-мірних значень даних, який заснований на розріджених двійкових матрицях вимірювань з стисненою вибіркою.

Yun та ін. [9] пропонує спіральну кластеризацію на основі розташування (LBSC) алгоритм для вирішення проблем питань кластеризації в MCM, таких як забезпечення зв'язку та планування міжкластерних комунікацій. В алгоритмі LBSC, голови кластерів, розташовані разом з чотирма спіралями на прямки обираються ітеративно.

Mary C. та ін. [10] зосереджуються на модифікаціях шару MAC для досягнення потреб у реальному часі до різних пріоритетних даних. Розділення смуги пропускання між різними пріоритетними передачами реалізовано за допомогою модифікацій рівня MAC.

### **1.1 Алгоритм розташування LBSC для вирішення проблем кластеризації в MCM**

Для підтримки агрегування даних або мережі топології управління, вузли можуть бути розділені на ряд невеликі групи, звані кластерами. Розглянуто кластеризацію як ефективний підхід до організації мережі в пов'язану ієрархія. Окрім досягнення енергоефективності, добре продуманий механізм кластеризації може зменшити кількість колізій між вузлами, що призводить до покращення показників пропускну здатності в умовах високого навантаження

Кожен кластер має координатора, який називається головою кластера (ГК) та членів кластеру (ЧК). ЧК Зондують дані до відповідних ГК. ГК не тільки зондують навколишнє середовище, а також збирають дані з ЧК і передають агреговані дані в кінцевий вузол. Кластеризація в MCM викликає кілька проблем, таких як забезпечення з'єднання та планування міжкластерних комунікацій.

У роботі запропоновано алгоритм кластеризації (LBSC) для вирішення проблем. Ітеративно відбираються ГК.. У роботі припускається, що вузол знає Інформацію про місцезнаходження сусідніх вузлів (ЧК), що виконують обмін повідомленнями.

Плюси LBSC такі. По-перше, поки генеруються нові кластери за алгоритмом LBSC, набори вузлів можуть виконувати кластеризацію у чотири різні напрямки LBSC одночасно без зіткнень пакетів. Тому можна зменшити загальну мережеву затримку кластеризації. По-друге, після завершення формування кластера кожен вузол буде призначено до однієї з чотирьох

глобальних груп, та всі кластери призначені одній і тій же глобальній групі, можуть одночасно передавати дані до їх відповідних ГК без зіткнення між кластерами.

Для вирішення вищезазначених проблем пропонується алгоритм LBSC для поліпшення підключення та уникнення міжкластерних колізій. Основна ідея полягає в ітеративній побудові кластерів в чотирьох спіральних напрямках від центру, використовуючи інформацію про місцезнаходження. Роль ГК серед вузлів є найважливішою, так як в них більша кількість обов'язків, ніж у інших ЧК. Перший ГК можна замінити на його ЧК у кожному раунді, і можна вибрати інший наступний рівень голови кластера. Для того, щоб вибрати ГК наступного рівня і виконати алгоритм LBSC з чотирма напрямками правильно, визначено новий тип вузла так званий вузол прийняття рішень (DN), який є одним із сусідніх вузлів поточного ГК. DN вибирається його ГК, і він вирішить новий ГК наступного рівня з метою розширення спіралі кластеризація. Поки перший ГК вибирає чотири DN для того, щоб зробити чотири нових кластера, кожен другий ГК вибирає лише один DN. Після успішного формування кластера кожен кластер ділиться в глобальну групу, використовуючи запропоновану адресу та встановлює графік одночасної внутрішньокластерної передачі без колізій пакетів між кластерами. Якщо кількість глобальних груп становить менше чотирьох, деякі вузли не знаходяться в жодному кластері. Однак якщо їх більше чотирьох, потрібні не тільки додаткові біти, щоб розрізнити кожен глобальну групу, але також додатковий часовий графік міжкластерів, який може призвести до затримки передачі пакетів.

Для того, щоб виділити чотири глобальних групи, алгоритм LBSC використовує три логічні адреси наступним чином:

Перша адреса, позначена  $A_1$ , спочатку встановлюється як 0 для першого ГК і збільшується, коли в кожній спіралі створюється новий кластер напрямку, в якому  $A_1$  представляє номер кластеризації рівня від центру. Друга адреса,

позначена A2, розрізняє чотири різні спіральні напрямки. Комбінація A1 і A2 відрізняє чотири глобальних групи для уникнення колізій пакетів між кластерами.

Третя адреса, позначена A3, використовується для індексації кожного ЧК в кластері. Цю адресу можна змінювати на кожному етапі процедури кластеризації. Для того, щоб збалансувати споживання енергії між ГК (включаючи перший ГК), діапазон кластерів ГК, який знаходиться ближче до центру повинен бути меншим за інші.

LBSC також встановлює маршрути від усіх каналів до базової станції під час кластеризації. Кожен ГК вибирає вузол із символом інформації про місцезнаходження поточного ЧК, поточного ГК та базової станції. Кожен ГК може вибрати вузол, найближчий до базової станції.

Алгоритм LBSC має наступні умови мережі. Всі вузли нерухомі і мають однаковий діапазон передачі R. Кожен вузол знає інформацію про місцезнаходження свого одного стрибка за допомогою алгоритму локалізації. Для того, щоб продовжити тривалість роботи мережі, змінюється роль ГК за заздалегідь визначеним таймером.

У кожному раунді спочатку виконується метод кластеризації, а потім неодноразові передачі даних та режими сну. Після розгортання вузла, найближчий вузол від центру, оголошений базовою станцією стає першим ГК. Потім він вибирає чотири DN для визначення наступного ГК у чотирьох різних напрямках. І кожен ГК одночасно вибирає DN. Цей крок буде виконуватися рекурсивно, поки всі вузли не будуть включені в кластери.

Після формування кластеру можна виділити чотири глобальних групи та встановити графік одночасних передач даних на основі адрес кластерів, позначених A1.A2 = непарний, непарний, A1.A2 = непарний, парний, A1.A2 = парний, непарний, і A1.A2 = парний, парний. Тоді кластери однієї і тої ж групи можуть одночасно передавати дані в відповідні ГК без колізій між кластерами.



Тіньові кластери представляють групу “ $A1.A2 = \text{непарна.парна}$ ”, і вони можуть використовувати той самий інтервал часу для передачі даних. Для зондування передачі даних на кінцевий вузол, кожен вузол надсилає свої дані до відповідного ГК. Потім ГК агрегує дані і надсилає їх у кінцевий вузол. Передача даних з міжкластерною координацією може бути реалізована як два різні способи. По-перше, графік часу кластера ділиться на чотири різні періоди часу для чотирьох глобальних груп. По-друге, кожна глобальна група використовує різні частотні канали для одночасної передачі даних. Для обох випадків, проміжок часу для одного кластера також розділений на міні-слот, призначений кожному ЧК з адресою категорії  $A3$ .

Перший ГК повинен бути розташований навколо центру для успішного формування кластера. На початку запропонованого алгоритму кластеризації, базова станція визначає центр положення сенсорного поля, а потім транслює контрольне повідомлення, яке несе центральне положення та заздалегідь визначений діапазон можливого положення першого ГК від центру. Якщо вузол знаходиться всередині заздалегідь визначеного діапазону центру, і не має жодного сусіда, який знаходиться ближче до центру, тоді він виконуватиме роль першого ГК після випадкового часу затримки. Перший ГК може бути замінений сусідами у кожному раунді для ефективності споживання енергії.

Для вибору другого рівня кластерних голів, у чотирьох напрямках, кожен DN визначає нову координату,  $P_i$  ( $i = 0,1,2,3$ ), як базове положення для вибору кластерів другого рівня. Причиною обчислення  $P_i$  є уникнення дірки, яка включає певні вузли, які не містяться в жодному кластері. Тоді DN може вибрати ГК другого рівня, найближчий до відповідного  $P_i$ . Щоб уникнути зіткнення пакетів, DN з  $A2 = (0 \text{ або } 2)$  вибирається спочатку ГК другого рівня, а потім DN з  $A2 = (1 \text{ або } 3)$ , вибирається наступна ГК.

Після вибору чотирьох ГК другого рівня, кожен ГК другого рівня одночасно повторює вибір DN і ГК, допоки не залишиться ні одного вузла в

чотирьох напрямках. Спосіб відбору DN ділиться на дві процедури наступним чином.

1) Розрахунок точок перетину: Кожна поточна ГК може знайти дві точки перетину прямої, яка перетинає лінію між поточний і першим ГК під прямим кутом і коло діапазону передачі від поточної ГК. Кожна ГК може обчислити дві точки перетину  $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}$ , використовуючи квадратна формула. Потім вибирається одна точка P з двох точок перетину. Причиною обчислення P є виберіть правильний DN.

2) Вибір вузлів прийняття рішень

Для того щоб вибрати DN, спочатку поточна ГК будує SDN (набір кандидатів в DN), у яких бути вузлом-кандидатом DN може бути будь-який вузол N повинен бути вузлом другого рівня.

Тоді поточна ГК може вибрати DN, найближчий до відповідного P серед набору, як. Якщо вибраний DN не знаходить наступного ГК належним чином, він надсилає повідомлення на адресу поточної ГК, щоб вибрати інший DN, крім нього.

DN вибирає наступну ГК за допомогою інформації про місцезнаходження поточної та першої ГК. Тоді DN може вибрати наступну ГК, який є найближчим вузлом до першої ГК серед вузлів SCH.

Також було порівняно LBSC і LEACH за допомогою симуляції.

Кожен вузол в мережі сенсорів включений в один з кластерів, сформований за алгоритмом LBSC. Всі кластери класифікуються на одну з чотирьох глобальних груп. Більше того, алгоритм LBSC добре сформований в спіральних напрямках.

Результат успішного формування кластера за допомогою LBSC - кожен набір кластерів бере участь в одному з чотирьох глобальних груп. Таким чином, кожен набір кластерів зайнятий у глобальній групі може одночасно виконувати передачу пакетів без колізій пакетів між кластерами з використанням графіку

міжкластерів. Було змодельовано на відносно довгий час (100 раундів) для оцінки результативності. У випадку з LEACH змінюється кількість кластерів від 10 до 50. В LEACH, кількість кластерів повинна бути встановлена перед вузлом датчика розгортання. На відміну від LEACH, у LBSC відповідна кількість кластерів автоматично генерується відповідно до вузлів передачі. Сформоване число кластерів в LBSC становить близько 30 на кожен раунд. Однак у

LEACH, навіть незважаючи на те, що було встановлено очікувану кількість кластерів до 30, фактично сформовані кластери становлять близько 40, оскільки алгоритм LEACH вимагає процедури переформування кластера для вузлів, які не можуть брати участь у будь-якому кластері. Це означає, що LEACH вимагає додаткового пакета і, отже, може мати довгу мережну латентність кластеризації. Необхідний міжкластерний часовий інтервал для того щоб уникати міжкластерних зіткнень. LBSC завжди потребує чотирьох часових інтервалів між кластерами, тоді як LEACH потребує набагато більше часових інтервалів. Більше того, у LEACH, щоб уникнути зіткнень між кластерами, сусідні ГК повинні домовитися про свої часові інтервали.

LEACH вимагає складної обчислювальної роботи, щоб гарантувати, що в усій мережі датчиків немає міжкластерних колізій. LBSC як правило, має стабільну кількість вузлів у кластері, ніж у LEACH.

У цій роботі було запропоновано алгоритм кластеризації на основі розташування, який гарантує, що всі вузли є включеними в кластери без колізій контрольних пакетів під час період формування кластеру. Алгоритм також надає шлях маршрутизації від ГК до базової станції. Класифіковано всі сформовані кластери до чотирьох глобальних груп і встановлено графік часу використовуючи три логічні адреси. Кластери, що належать до однієї і тією ж глобальної групи можуть поділяти один і той же графік часу, що може збільшити пропускну здатність мережі та уникнути зіткнення пакетів даних. Результати моделювання показують, що кожна глобальна група одночасно

передає дані з ЧК до відповідної ГК без зіткнень між кластерами, використовуючи чотири міжкластерні графіки часу.

## **1.2 Розділення смуги пропускання між різними пріоритетними передачами за допомогою модифікацій рівня MAC**

У статті [10] представлено розширену версію протоколу маршрутизації із затримкою для MCM разом із його порівняння його продуктивності з різними сценаріями розгортання вузлів датчиків, беручи до уваги IEEE802.15.4 як основний протокол MAC. Оцінка продуктивності протоколу проводиться шляхом моделювання за допомогою симулятора ns-2.

У MCM зібрані дані надсилаються на станцію управління, яка називається поглиначем або базовою станцією для подальшої обробки. Кінцева затримка вважається однією з важливих параметрів якості обслуговування в мережах MCM для доставки за певний критичний час інформації до поглинача або базової станції у визначений термін.

Протокол MAC відіграє важливу роль для доступу до середовища зв'язку. Хоча різні MAC протоколи використовуються в сенсорних мережах, IEEE802.15.4 є фактичним стандартом, і його можна використовувати в рамках різних цілей дослідження, таких як мінімізація споживання енергії, покращення коефіцієнта доставки пакетів, поліпшення використання каналів, зменшення кінцевої затримки тощо. IEEE802.15.4 визначає фізичний і MAC підрівень для низькошвидкісних мереж. Модуль оцінки кінцевого терміну може бути використаний для оцінки кінцевого терміну, коли певна інформація зондування має бути надіслана до базової станції протягом обмеженого часу для випадкового розгортання вузлів датчиків. Представлений детальний принцип роботи протоколу, зосереджений головним чином на схемі пересилання пакетів. Різні сценарії моделювання створюються зі зміною кількості вузлів датчиків і часу моделювання для обох сценаріїв розгортання. Різні показники

продуктивності, такі як кінцева затримка, коефіцієнт доставки пакетів, вимірюються за допомогою моделювання. Припускається, що вузли датчиків є однорідними. Базова станція має GPS і передає інформацію про своє місце розташування на всі вузли датчиків. Кожен вузол датчика знає своє місце розташування за допомогою методів локалізації. Всі вузли датчиків мають статичний характер і мають дуже малу рухливість. Початковий рівень енергії та радіус дії всіх вузлів датчиків рівні.

Основна функціональність протоколу розділена на три частини, як зазначено нижче:

- 1) Конфігурація мережі та управління сусідством.
- 2) Оцінка терміну.
- 3) Пересилання даних.

Спочатку кожен вузол датчика досліджує своїх сусідів, обмінюючись пакетами керування HELLO та ACK.

Значення поля типу пакету може бути 0 або 1 (0 для HELLO і 1 для ACK). Інформація про виявлення сусідів зберігається у кожному вузлі датчика у вигляді таблиці. Ця таблиця періодично оновлюється.

Після фази виявлення сусідів кожен вузол датчика транслює ехо-пакет на сусідні вузли і реєструє час повернення ехо-пакетів для обчислення затримки зв'язку. Залежно від варіації завантаженості трафіку за посиланням, затримка може змінюватись у посиланні. Після обчислення затримки зв'язку кожен вузол датчика керує таблицею пересилання даних на основі інформації в таблиці виявлення сусідів і приблизної затримки посилання. Ця таблиця пересилання даних шукається для маршрутизації пакетів даних до базової станції. Щільність та кількість розгорнутих вузлів у бездротових сенсорних мережах відіграють важливу роль для оцінки терміну. Вузлі датчиків розгортаються хаотично згідно з процесом розгортання. Нехай відстань між джерелом та раковиною дорівнює  $D$ , а радіохвиля а вузлом датчика є  $R$ . Передбачається, що вузли

датчиків випадково розгортаються з щільністю  $\rho$  на квадратний метр. Область між вихідним вузлом і базовою станцією розділена на деякі невеликі області фіксованого розміру, що задовольняє наступні обмеження:

- 1) Кожна область має принаймні один вузол датчика.
- 2) Максимальна відстань між вузлами датчиків у двох суміжних областях дорівнює радіохвилі  $R$ .

Вузол датчика може виконувати роль вихідного вузла або вузла пересилання. Якщо базова станція знаходиться в межах вузла або вузла переадресації, тоді пакети можуть бути відправлені безпосередньо до базової станції. В іншому випадку пакет переадресується на базову станцію завдяки мульти-хоп комунікації. Вузол датчика шукає свою таблицю переадресації та вибирає одну з сусідських вузлів як вузол переадресації та відправляє на нього пакет даних.

Етапи схеми переадресації пакетів наведені нижче.

- 1) Вузол датчика,  $S$ , відчуває настання події або на неї надходить пакет даних.
- 2) Якщо базова станція,  $T$ , знаходиться в діапазоні передачі  $S$ , тоді направляє пакет даних безпосередньо в базову станцію.
- 3) В іншому випадку базова станція пересилає пакет даних на сусідній вузол, який відповідає умовам, зазначеним нижче.
  - a) Сусідній вузол є найближчим сусідом до базової станції.
  - b) Швидкість розповсюдження,  $V_p$ , пакетів даних, наданих за вибраним посиленням, повинна бути більшою або рівною необхідну швидкість поширення  $V_p$  за цим посиленням.
  - в) Залишкова енергія сусіднього вузла більша або дорівнює пороговій енергії.

Протокол було оцінено за допомогою мережевого симулятора ns-2 для вимірювання різних показників продуктивності, таких як кінцева затримка,

коефіцієнт доставки пакетів тощо. Вузли датчиків розміщені випадковим чином на рівній площі  $600 \times 600$  квадратних метрів. Також було розглянуто розгортання сітки вузлів датчиків з однаковою площею для порівняння продуктивності протоколу. Різні сценарії моделювання створюються шляхом варіювання кількості вузлів датчиків як 50, 75, 100, 125 та 150. Час моделювання також варіюється як 100 секунд, 200 секунд, 300 секунд, 400 секунд та 500 секунд. У моделюванні IEEE802.15.4 є використовується як базовий протокол MAC.

Продуктивність протоколу порівнюється з урахуванням наступних показників продуктивності:

- 1) Затримка від кінця до кінця проти часу моделювання.
- 2) Співвідношення доставки пакетів і часу моделювання.
- 3) Співвідношення терміну та кількості вузлів.
- 4) Кінцевий термін у співвідношенні проти пакетного інтервалу
- 5) Затримка від кінця до кінця проти інтервалу пакетів.

Кінцеву затримку можна визначити як середню кінцеву затримку для всіх успішно отриманих пакетів з її джерела до пункту призначення. Середня затримка від кінця до кінця вимірюється для п'яти різних сценаріїв, змінюючи кількість розгорнутих вузлів як 50, 75, 100, 125 та 150. Для кожного сценарію час моделювання варіюється як 100 секунд, 200 секунд, 300 секунд, 400 секунд і 500 секунд

Кінцева затримка зменшується із збільшенням часу моделювання як для сітки, так і для випадкового розгортання вузлів датчиків. Що стосується розгортання сітки, затримка в кінці зменшується рівномірно з кількістю вузлів. Це пов'язано з нерівномірною відстанню між вузлами датчика при випадковому розгортанні та через різну щільність вузлів між джерелом та базовою станцією для різних сценаріїв розгортання вузлів датчиків.

Коефіцієнт доставки пакетів (PDR) вимірюється як відношення загальної кількості отриманих пакетів до кількості пакетів, надісланих без урахування терміну. Було оцінено цю метрику ефективності з метою надійності. Коефіцієнт доставки пакетів вимірюється для п'яти різних сценаріїв, змінюючи кількість розгорнутих вузлів, як 50, 75, 100, 125 і 150. Для кожної налаштованої тривалості моделювання змінюється як 100 секунд, 200 секунд, 300

секунди, 400 секунд та 500 секунд, як уже згадувалося раніше. Було виміряно коефіцієнт доставки пакетів для обох випадків: сітка та випадкове розгортання. З експериментів видно, що коефіцієнт доставки пакетів зростає зі збільшенням часу моделювання як для сітки, так і для випадкового розгортання вузлів. Для розгортання сітки коефіцієнт доставки пакетів найвищий для 50 вузлів і найнижчий для 150 вузлів.

Кінцевий коефіцієнт втрат (DMR) вимірюється як частка пакетів, які пропустили свій термін. Це може бути виражено як:

Загальна кількість отриманих пакетів відняти Кількість отриманих пакетів, що відповідає граничному терміну розділено на загальну кількість отриманих пакетів. Кінцевий термін "Коефіцієнт втрат" обчислюється для оцінки ефективності схеми пересилання пакетів. У цьому експерименті час моделювання встановлений на 500 секунд, а кінцевий термін встановлений на 19 мілісекунд. Кожне джерело передає пакет з інтервалом в 1 секунду. Кількість пакетів, які не дотримуються граничного терміну, більше із збільшенням кількості вузлів у мережі. Така поведінка чітко спостерігається при розгортанні сітчастих вузлів датчиків.

Також було виміряно кінцевий коефіцієнт втрат, змінюючи час інтервалу між пакетами. Пакети генеруються в інтервалах в 1 секунду, 2 секунди, 3 секунди, 4 секунди та 5 секунд. Кількість вузлів датчиків варіювалася між 50, 100 і 150. Тут також кінцевий термін становить 19 мілі секунд, а час моделювання - 500 секунд. Було досліджено, що коефіцієнт пропуску кінцевого



терміну зменшується щодо збільшення інтервалу пакетів як для сітки, так і випадкового розгортання вузлів датчиків.

Також була виміряно продуктивність протоколу для середньої кінцевої затримки щодо інтервалу між пакетами. Цей експеримент проводився з урахуванням тих самих параметрів моделювання, що були згадані в попередньому експерименті. Було помічено, що затримка в кінці зменшується зі збільшенням часу інтервалу пакетів для обох випадків сітки і випадкового розгортання вузлів. Причина та сама, що і в попередньому випадку - зі збільшенням інтервалу пакетів буде менша перевантаженість мережі, а затримка, спричинена пакетами, зменшиться.

У цій роботі представлена розширена версія протоколу маршрутизації із затримкою для бездротових сенсорних мереж зосереджуючись на порівнянні продуктивності між сіткою та випадковим розгортанням вузлів датчиків. Протокол оцінюється за допомогою симулятора ns-2 шляхом варіювання кількості вузлів датчиків від 50 до 150 вузлів, розгорнутих у квадратній площині. Різні параметри продуктивності, що розглядаються: кінцева затримка, коефіцієнт доставки пакетів, коефіцієнт втрат тощо. З результатів моделювання було помічено, що основна поведінка протоколу майже однакова для обох сценаріїв розгортання. Однак є деякі порушення у випадку випадкового розгортання при оцінці таких параметрів продуктивності як кінцева затримка, коефіцієнт доставки пакетів та коефіцієнт втрат. Також було помічено, що в деяких випадках випадкове розгортання дає кращі результати порівняно з розгортанням сітки.

### **1.3 Розподілу і перенастроювання доступної смуги пропускання шляхом проектування і універсального аналізу МСМ**

Часто моніторинг та дії через МСМ утворюють цикли зворотного зв'язку, в межах яких приймається рішення про управління в режимі реального часу. Тож якість обслуговування існуючих мереж МСМ з цього часу повинна бути

покращена так як більшість з них в основному зосереджуються на енергоефективності без гарантій продуктивності з точки зору пропускної здатності

Для збереження масштабованості більшість існуючих МСМ із низьким енергоспоживанням застосовують МАС на основі суперечок. Забезпечення гарантованого ресурсу є ще більш складним через випадковий характер доступу до каналу та радіо поведінки каналу; який можна описати функцією випадкового розподілу ймовірностей. Крім того, надійність / несправність вузла є імовірнісною внаслідок раптової втрати датчика або розпаду батареї. Тому часто неможливо забезпечити детермінований показник пропускної здатності в МСМ.

На відміну від деяких останніх імовірнісних робіт з наскрізного аналізу затримок, які зосереджуються на методах оцінки результативності, імовірнісний підхід, розроблений у цій роботі, пропонує певну гнучкість, дозволяючи впоратися з динамікою навколишнього середовища (каналу) та додатками в МСМ. Розроблений підхід можна розділити на дві частини:

1) аналіз, який є теоретичною частиною на основі імовірнісного обчислення мережі;

2) менеджер з контролю за допуском (АСМ)

реалізація рівня МАС, яка гарантує, що гарантії ефективності, передбачені частиною аналізу підтримуються. Це досягається в АСМ шляхом активного скидання пакетів на основі наявності пропускної здатності (розглядається імовірнісною у цьому документі) та прийнята гарантією виконання (QoS) вузлом (на той час складу мережі); у імовірнісний спосіб.

Дизайн на основі компонентів передбачає систему як склад компонентів. Кожен компонент абстрагує процес або фізичну сутність у чорну скриньку з інтерфейсами для спостереження та керування її поведінкою. Змодельовано вузли МСМ як базові обчислювальні одиниці, що реалізують функції з тимчасовими вимогами або вимогами QoS. Отже, вузли МСМ можуть бути абстраговані як компоненти та зв'язок (і пов'язані з ними вимоги) між вузлами, що представляють зв'язок між компонентами. Ця абстракція дозволяє легко аналізувати та розробляти МСМ; оскільки ми можемо абстрагувати кластер як один компонент, що є результатом складу інших компонентів. Більше того, компонентний підхід до моделювання мережі розкладається складність МСМ на частини; які можна проаналізувати індивідуально, тим самим зменшивши загальну складність.

Компонент має пов'язаний з ним інтерфейс, який описує функціональну та нефункціональну поведінку компонента. Інтерфейс відіграє центральну роль у

компонуванні дизайну мереж, таких як МСМ; оскільки він визначає поняття композиції: два або більше компонентів сумісні якщо вони співпрацюють належним чином.

Розглядається CPS(кібер фізичні системи) на основі МСМ для додатків моніторингу, де система складається з набору вузлів датчиків збору даних; які потім направляються до пунктів збору (базових станцій) з обмеженими затримками передачі. Також розглядається ієрархічна топологія дерева кластерів для її гнучкості та масштабованості. На найнижчому рівні є топології на основі зірок, де Координатор (С) керує кінцевими приладами (ED), щоб сформувати кластер листків. Ми можемо отримати широкомасштабну мережу шляхом розширення та взаємозв'язку скупчень топології зірок в ієрархічному порядку та створення так званої топології дерева кластерів. У деревовидній топології кластера координатори керують ED, або іншими координаторами Ск. Припускається, що координатори Сі не зондують (тобто їх призначена пропускна здатність повністю перерозподіляється на дочірні датчики), а їх основною функцією є підтримка топології та ієрархічне розподілення пропускної здатності.

Слідуючи міркуванням обчислення мережі та обчислення в реальному часі визначається абстракція для МСМ компонентів. Сукупні функції R і S представляють величини навантаження та пропускної здатності відповідно; R (t) та S (t) дають відповідно обсяг необхідного навантаження і пропускної здатності, доступну в інтервалі часу [0, t). Тоді як R (t) описує конкретний шлях події / пакетного потоку; крива прибуття  $\alpha$ , забезпечує абстрактну модель, яка забезпечує верхню межу на будь-якому допустимому шляху події / потоку пакетів у будь-якому часовому інтервалі довжини  $\Delta$ . Те саме міркування стосується і S (t) та її кривої обслуговування  $\beta$  в інтервальній області. Загальні аперіодичні події більш доречно моделюються за допомогою функції розподілу та її кумулятивної функції розподілу (CDF) X, що відповідає розподілу надходження навантаження / подій (надходження пакетів). За допомогою розподілу ймовірностей можна краще захопити аперіодичність аперіодичних подій.

Для моделювання інтерфейсів компонентів МСМ використовується подібний підхід до розрахунку в реальному часі та для припущення / гарантування інтерфейсів, пристосованих до гарантій на доступність смуги пропускання та запиту. Інтерфейс загального мережевого компонента має змінні входу і виходу, пов'язані з потоками подій (надходження) та доступністю ресурсів (послуги).

Вхідний інтерфейс описує j-й ED-компонент, i-го кластера. Вхідна подія / потік пакетів транслюється на попит на ресурси, який визначає імовірнісну

пропускну здатність, яку вимагає координатор, передбачену для передачі належним чином повідомлення, отримані в результаті зондування подій. Це верхня обмежена пропускна здатність, яку вимагає вузол від його координатора на основі обмежень вузлів, таких як QoS, кінцевий термін, наскрізна затримка тощо. ED отримує пропускну здатність від батьківського рівня, що є нижньою межею пропускної здатності гарантованою координатором.

Подібним чином задається компонентний зв'язок між координатором  $C_i$  та його батьківським координатором (з точки зору пропускної здатності).

З імовірнісною моделлю для компонентів МСМ проблема призначення пропускної здатності стає імовірнісною проблемою. Пропускна здатність розподіляється відповідно до запитів від вузлів. Кожен вузол спілкується з батьківським вузлом; тобто ймовірність попиту / запиту обмежена  $\Omega$ .

Для розподілу смуги пропускання між координаторами; батьківські координатори нормалізують доступні ресурси із використанням накопичених ресурсних запитів його дочірнього кластеру  $C_i$ . Нормований ресурс потім розподіляється між дочірніми вузлами кластера з імовірнісною гарантією, обчисленою з використанням ймовірної гарантії запиту ресурсу та імовірної гарантії наявності ресурсів координаторів.

У режимі маяка з підтримкою IEEE 802.15.4 координатор у Персональній Мережі періодично надсилає кадри маяків для синхронізації пов'язаних вузлів. Стандарт визначає структуру суперкадру між двома послідовними передачами маяка. Структура суперкадру поділена на активну частину і неактивну частину з низьким енергоспоживанням. Структура суперкадру задається двома значеннями; тривалість суперкадру (SD), яка визначає активну частину та інтервал маяка (BI), який визначає інтервал між двома послідовними маяками. Періоди SD та BI визначаються за допомогою двох параметрів; порядок суперкадрів (SO) та порядок маяків (BO) відповідно.

Стандарт підтримує топологію кластерного дерева, в якому координатори утворюють дерево з великою кількістю можливих переходів. Кореневий координатор називається координатором PAN. Кожен координатор надає послуги синхронізації (через передачі маяків) на інші пристрої або інші координатори. Тому, щоб уникнути зіткнення маяків, серед координаторів повинна застосовуватися схема планування. Стандарт IEEE 802.15.4 встановлює, що BO і SO повинні бути рівними для всіх суперкадрів на PAN і пропонується планування маяків таким чином, щоб активні періоди

координаторів сусідів та координаторів сусідів із двома переходами не збігаються.

Кожна дочірній вузол передає дані лише протягом активного періоду батьків. Зокрема, для передачі даних до Координатору РАН, дочірні координатори та ЕР повинні передавати свої дані протягом активного періоду координатора РАН. Отже, максимальна пропускна здатність, призначена координатором РАН, може дорівнювати максимальній кількості повідомлень які мають бути передані в РАН координатор під час SD кожного ВІ.

### **Висновок до розділу:**

Було проаналізовано існуючі методи підвищення пропускної здатності МСМ. В проаналізованих методах підвищення показнику пропускної здатності досягалося за рахунок зміни архітектури, процесу передачі даних та процесу кластеризації. Автори даних робіт за рахунок своїх досліджень дали основу для подальших досліджень з використанням їх методів в якості базової концепції.

## РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ TDMA НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОЇ МОБІЛЬНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

Сенсорні вузли, з одного боку, споживають мало енергії, коли вони зв'язуються з протоколом TDMA, усуваючи колізії та бездіяльний простій. З іншого, алгоритми агрегації даних використовуються для збору і агрегування даних в енергоефективному режимі, що збільшує час життя мережі. Протоколи TDMA більш енергоефективний, оскільки вузли в мережі можуть вводитись в неактивний стан допоки їм не буде призначено часові інтервали. Річ йде про TDMA протокол на основі кластерної MCM, де щільність мережі на рівні користувача пояснюється пропускну здатністю мережі. Я вважаю, що агрегування даних може покращити пропускну здатність.

Розглянемо підхід, який поєднує агрегацію даних з використанням протоколу TDMA в мобільних сенсорних мережах, шляхом мінімізації величезного числа переданих пакетів до кінцевого вузла. Кожна голова кластера збирає і агрегує (відповідно до функції агрегації) отримані пакети від своїх дочірніх вузлів у своєму кластері, перш ніж передавати результуючий пакет (результат агрегації як окремий пакет) його батьківському, поки дані не досягнуть кінцевого вузла.

Завдяки їхньому потенційному використанню в обороні, поширених комерційних та наукових додатках, MCM стають активною темою досліджень, де датчики є блоками з можливістю зондування та обробки MCM. Вони можуть автоматично збирати інформацію і повідомляти про вимірювання кінцевий вузол.

Нещодавно було розроблено і розгорнуто безліч MCM для різних видів додатків. Мобільні сенсорні мережі дуже привабливі, тому, що ці мережі дають багатообіцяючі додатки, проте існує багато системних проблем для вирішення, наприклад: обмежена пропускну здатність датчиків, енергія, також є суттєвою проблемою, оскільки датчики, зазвичай, живляться від батарей, деякі

надзвичайні додатки також вимагають короткого часу збору даних, і для задоволення вищезазначених вимог, TDMA є гарним вибором на шляху до таких мереж збору даних. Економія енергії здійснюється за рахунок усунення колізій, введення бездіяльного стану, в якому інші датчики передають пакети, обмежуючи затримки пакетів, що важливо для агрегації даних, керованої часом, та гарантує надійну комунікацію, яка підтримується протоколом TDMA, як метод доступу без колізій.

Кластеризація в MCM - це процес групування вузлів датчиків у широкомасштабній щільно розгорнутій мережі датчиків. У середовищі, яке базується на кластері, агрегація даних - це спосіб об'єднання та стиснення даних, які належать до одного кластера. Процес кластеризації в мобільній сенсорній мережі є обмеженим: кількістю кластерів, що повинні бути сформовані, що можуть оптимізувати деякий параметр продуктивності, кількістю вузлів, що будуть взяті до одного кластера та процедурою вибору голови кластера в кластері. Іншою проблемою є, коли користувач може вибрати деякі більш енергоємні вузли в мережі, для того щоб діяти як кластер-голова тоді інші прості вузли, діють лише як кластерні члени.

Суттєвою парадигмою для бездротової маршрутизації в сенсорних мережах, є «Агрегація даних». Ідея полягає в тому, щоб об'єднати вхідні дані від різних дочірніх вузлів, усуваючи надмірність, мінімізуючи кількість передач і за рахунок цього економлячи енергію. Ця парадигма зміщує фокус від пошуку коротких маршрутів між парами адресних кінцевих вузлів (адресно-орієнтованих) до пошуку маршрутів з декількох джерел до одного місця призначення, що дозволяє консолідацію в мережі надлишкових даних (орієнтованих на дані).

## **2.1 Проблеми розміщення мереж**

### Агрегація даних

Кінцевий вузол збирає пакет від кожного іншого вузла, і кожен проміжний вузол об'єднує всі отримані пакети з власним пакетом в єдиний пакет фіксованого розміру відповідно до деякої функції агрегації, такої як сума і дисперсія.

### Збір даних

Кінцевий вузол збирає необроблений пакет з будь-якого іншого вузла. Збір даних відрізняється від агрегування даних у тому сенсі, що для збору даних не допускається обробка в мережі. Таким чином, кожен вузол повинен передавати свої необроблені дані і ретранслювати всі отримані дані до кінцевого вузла.

### Змінна пропускна здатність

Насправді, багато факторів можуть відображати ефективну пропускну здатність, зарезервовану для кожного датчика (наприклад, використовуваний механізм доступу до середовища), які не можуть бути відображені формулою поточної задачі з постійною загальною пропускну здатністю як обмеження. Поточні рішення можуть бути розширені без особливих зусиль, тоді як для більш детального аналізу потрібна складна модель. Підхід, що базується на розрахунках, запропонований у цій роботі, здатний адаптуватися до динаміки пропускну здатності відповідно до довжини суперкадра.

## **2.2 Розподіл пропускну здатності в протоколі TDMA**

У протоколі TDMA вузли ділять доступну пропускну здатність у часі як «метод спільного використання пропускну здатності». Доступна пропускну здатність ділиться на кадр, де кожен кадр ділиться на часові інтервали. Кількість тимчасових інтервалів (в яких дані передаються) в кадрі TDMA



залежить від довжини кадру, який називається суперкадром TDMA. Довжина даних, що передаються через часовий інтервал, залежить від довжини часового інтервалу і швидкості передачі бітів цієї мережі.

### **2.3 Моделювання MCM на основі протоколу TDMA і визначення**

Візьмемо MCM, що складається з 58 однорідних сенсорних вузлів ("1", "2" ... "58") і кінцевого вузла "0". Вважаємо, що наша мережа працює без взаємних або внутрішньокластерних перешкод, і всі ці вузли датчиків подібні і відчують однакові події (наприклад, температуру). Ми приймаємо ідеальну модель агрегації даних і протокол планування на основі TDMA, як показано на Рис. 2.1.

Ця мережа характеризується:

- Типом мережі: ми припускаємо, що наша мережева архітектура є ієрархічною «на основі дерева», і що датчики групуються в кластери, міжкластерні комунікації здійснюються ГК.
- Синхронізація датчиків: Синхронізація часу в мережі може бути здійснена шляхом застосування алгоритму синхронізації, або шляхом передачі сигналу від кінцевого вузла або іншого об'єкта, здатного досягати всіх датчиків. Ми визначаємо раунд (або звітний період) як період розкладу TDMA, що складається з "часових інтервалів", що є процесом збору даних від всіх вузлів до кінцевого вузла. У кожному часовому інтервалі всі відправники та їхні відповідні батьківські вузли переводяться в активному стані, а інші вузли перебувають у стані сну. Довжина цього раунду - це "довжина суперкадра", яку ми зосереджуємо для розрахунку. Розглянемо прості функції агрегації, в якій множинні вхідні пакети можуть бути агреговані в один вихідний пакет.

Обчислимо довжину суперкадра і пропускної здатності, які зарезервовані для кожного вузла датчика в мережі, де ГК виконують агрегацію даних в алгоритмі планування TDMA. У таблиці 2.1 перелічені символи, що використовуються в цій обчислювальній моделі.

Таблиця 2.1

Символи	Значення символів
$C_i^h$	Позначає номер кластера "i" на рівні "h"
$CH(x)$	Повертає голову кластера кластеру "x", тоді як CH(голова кластера) – 1 (x) повертає кластер, який має "x" як голову кластера.
$Ch(x)$	Повертає число всіх дочірніх вузлів у кластері "x".
$Nc(h)$	<p>Повертає кількість кластерів на рівні "h":</p> $Nc(h) = \begin{cases} 1 & \text{If } h = 1 \\ \sum_{i=1}^{Nc(h-1)} Ch(C_i^{h-1}) & \text{If } h \neq 1 \end{cases}$

Як приклад було взято Рис. 2.1, щоб краще зрозуміти розрахунок механізму довжини суперкадра TDMA і як зміни щільності безпосередньо впливають на пропускну здатність, зарезервовану для кожного вузла.

Розрахунок довжини суперкадра.

Згідно з прикладом, вузли "19" і "20" знаходяться в одному кластері, тому вони знаходяться в одному районі, а вузли "8" і "9" не чують один одного (не знаходяться в одному кластері). Для кожного кластера є ГК, яка об'єднує дані, отримані від своїх дочірніх вузлів, і передає їх до свого батьківського вузла.

У загальному випадку, коли кожен часовий слот зарезервований для одного і тільки одного вузла датчика для передачі його пакета, ми обчислюємо довжину суперкадра, коли зондування здійснюється всіма вузлами, і одночасні передачі не виконуються між кластерами. Довжина суперкадра дорівнює кількості всіх вузлів датчика. Як можна помітити на Рис. 2.2, суперкадр складається з 3 частин (квадрати трьох різних кольорів): 22 часових інтервалів

для агрегації і передачі, 22 потоків з 22 кластерів дочірніх вузлів рівнів '3' і '6' та 21 часових слотів для агрегування і передачі 21 потоків з 21 кластера дочірніх вузлів рівнів '2' і '5', 15 тимчасових інтервалів для агрегування і передачі 15 потоків з 15 кластерних дочірніх вузлів рівнів '1' і '4'. Довжина суперкадра TDMA в кластерній мережі на основі дерев з глибиною, що дорівнює "H", отримується наступною формулою "(1)":

$$\text{Довжина} = \sum_{i=1}^H [\sum_{j=1}^{Nc(i)} Ch(C_j^i)] \quad (1)$$

де "H" позначає глибину дерева, тобто кількість рівнів в мережі. З "(1)" ми бачимо, що в суперкадрі достатньо місця для потоків вузлів, які надсилаються одночасно один одному, як показано на рис. 2.2.

Обчислимо довжину суперкадра, коли зондування здійснюється будь-яким вузлом, а одночасні передачі виконуються кластерами одного рівня, а також віддаленими вузлами до 3-х рівнів. Тепер розглянемо найбільш повний випадок, коли будь-який вузол датчика в мережі зондує дані і проміжні вузли також зондують, агрегують і передають дані. Для того, щоб збільшити пропускну здатність, зарезервовану для кожного вузла датчика і обмежити проблему колізій між датчиками, пропонується комунікаційна архітектура, де вузли працюють в TDMA, і для цього запропонована формула (2), яка дозволяє розрахувати довжину суперкадра (Рис. 2.3) де зондування подій здійснюється всіма вузлами, а одночасні передачі виконуються кластерами одного рівня, а також віддаленими вузлами до 3-х рівнів. У всіх вищезазначених випадках проміжні вузли також зондують, агрегують і передають дані.

$$\text{Довжина} = \sum_{d=1}^3 \underset{(g=0..H)}{\text{Max}_{h \in \{d+3g\}}} \{ \text{Max}_{i=1}^{Nc(h)} \{ Ch(C_i^h) \} \} \quad (2)$$

З «(2)» можна помітити, що довжина суперкадра складається з 3 різних частин згідно з індексом «d», як показано на Рис. 3, де 'g' = 0...H'. Довжина цієї частини - це максимальна кількість дочірніх вузлів кластерів рівнів (1 + 3g) (у цьому випадку ми отримуємо 3 часових слота).

$$d = 1: \text{Max}_{h \in \{1+3g\}} \left\{ \text{Max}_{i=1}^{Nc(h)} \{Ch(C_i^h)\} \right\} \quad (3)$$

(g=0..H)

Друга частина складається з усіх сенсорних вузлів рівнів  $(2 + 3g)$ , де  $g = 0 \dots H$ . Довжина цієї частини є максимальним числом дочірніх вузлів всіх кластерів  $(2 + 3g)$ -рівнів (у цьому випадку ми отримуємо 4 тимчасових слота).

$$d = 2: \text{Max}_{h \in \{2+3g\}} \left\{ \text{Max}_{i=1}^{Nc(h)} \{Ch(C_i^h)\} \right\} \quad (4)$$

(g=0..H)

Третя частина складається з усіх сенсорних вузлів рівнів  $(3 + 3g)$ , де  $g = 0 \dots H$ . Довжина цієї частини є максимальним числом дочірніх вузлів всіх кластерів  $(3 + 3g)$ -рівнів (у цьому випадку ми отримуємо 3 тимчасових слота).

$$d = 3: \text{Max}_{h \in \{3+3g\}} \left\{ \text{Max}_{i=1}^{Nc(h)} \{Ch(C_i^h)\} \right\} \quad (5)$$

(g=0..H)

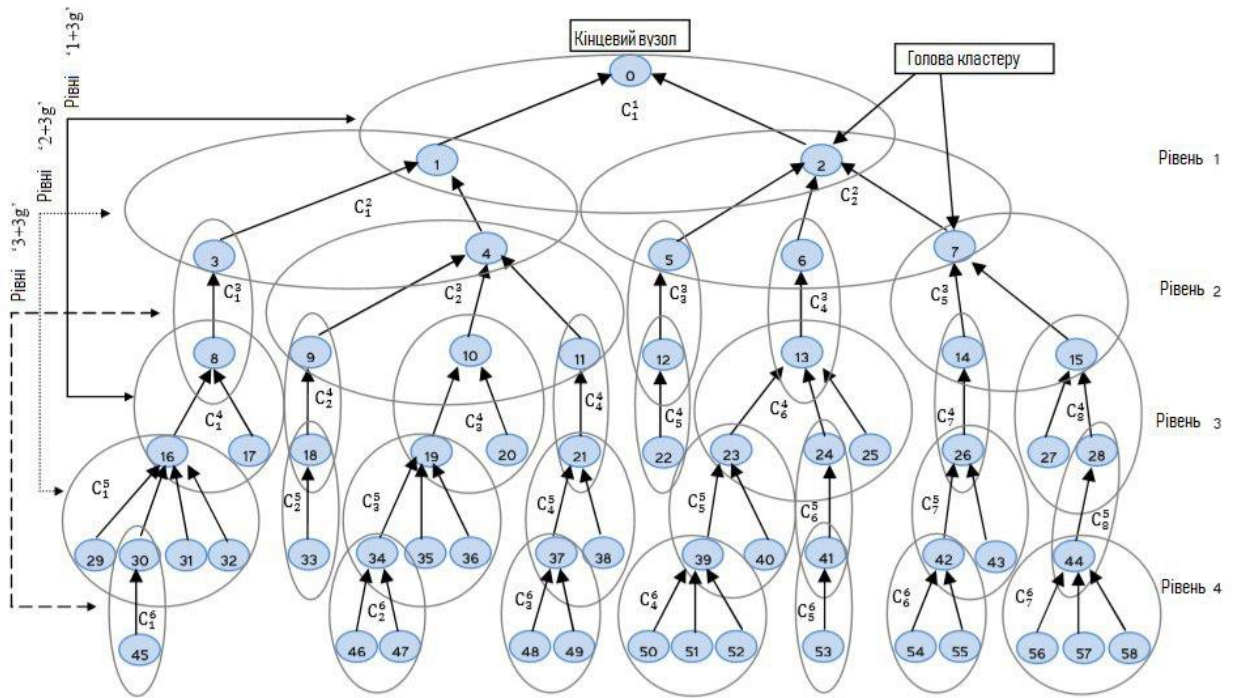


Рис. 2.1. Деревовидна кластерна сенсорна мережа



Рис. 2.2. Суперкадр TDMA з агрегацією даних у загальному випадку

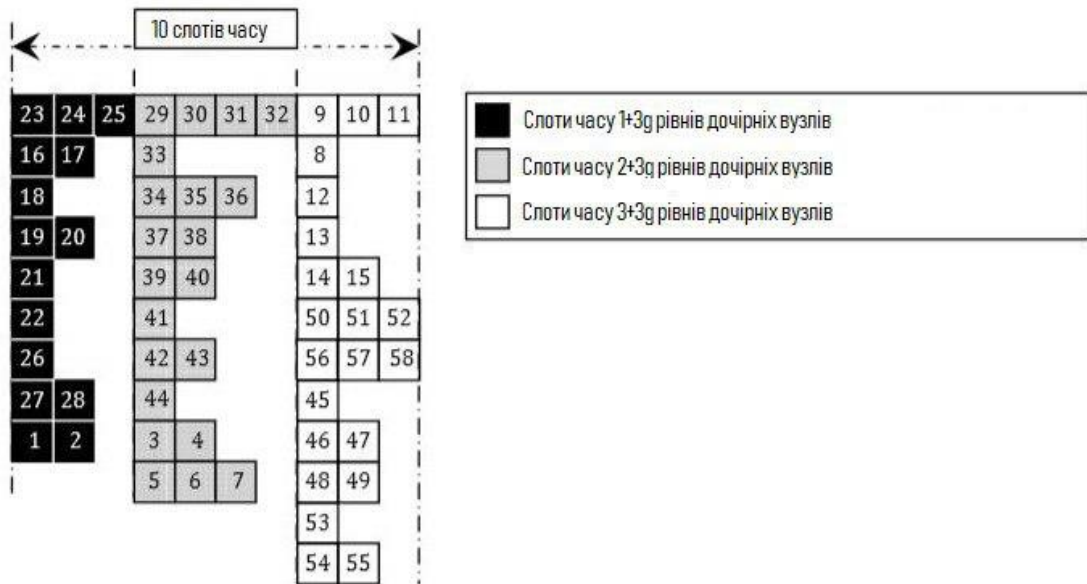


Рис. 2.3. TDMA Суперфрейм з агрегацією даних.

## 2.4 Розподіл пропускної здатності

Час, коли ми маємо довжину суперкадра, ми можемо обчислити співвідношення пропускної здатності для кожного вузла датчика в мережі. Пропускна здатність - це кількість трафіку, що передається кожним вузлом мережі протягом часу моделювання. Ця метрика змінюється по довжині суперкадра, обчисленої відповідно до щільності мережі. Це співвідношення смуги пропускання "B" обчислюється за формулою "(2)", і отримуємо:

$$B = \frac{1}{\text{Довжина}} \quad (3)$$

Оскільки кожен сенсорний вузол посилає свої пакети в одному і тільки одному часовому інтервалі, співвідношення пропускної здатності, зарезервоване для кожного з них, є однаковим для всіх датчиків, тобто всі датчики мають однакове співвідношення пропускної здатності.

## 2.5 Зв'язок між щільністю мережі та смугою пропускання

На Рис. 2.4 порівнюється пропускна здатність суперкадра в загальному випадку і в випадку запропонованого підходу, де кластер ( $C_2^4$ ) має, спочатку, один дочірній вузол ( $Ch(C_2^4) = 1$ , який є вузлом "18").

У цьому моделюванні збільшується кількість дочірніх вузлів у цьому кластері поступово до досягнення 3 датчиків, тобто  $Ch(C_2^4) = 3$ , а потім підвищуємо до  $Ch(C_2^4) = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ . Зверніть увагу, що в цьому випадку пропускна здатність поступово зменшується при додаванні інших вузлів.

У МСМ пропускна здатність, зарезервована для кожного датчика, зменшується, якщо ми додаємо вузли до мережі. Практично це означає, що додавання ще одного вузла до мережі трохи збільшить довжину суперкадрів, таким чином зменшуючи резервну пропускну здатність для кожного вузла. З одного боку, отримуємо точність, збільшивши щільність мережі, а з іншого - втрачаємо деяку точність, зменшуючи свіжість даних.

У дослідженні для порівняння даного способу з вже існуючими я використала дві роботи([1], [2] у списку використаної літератури).

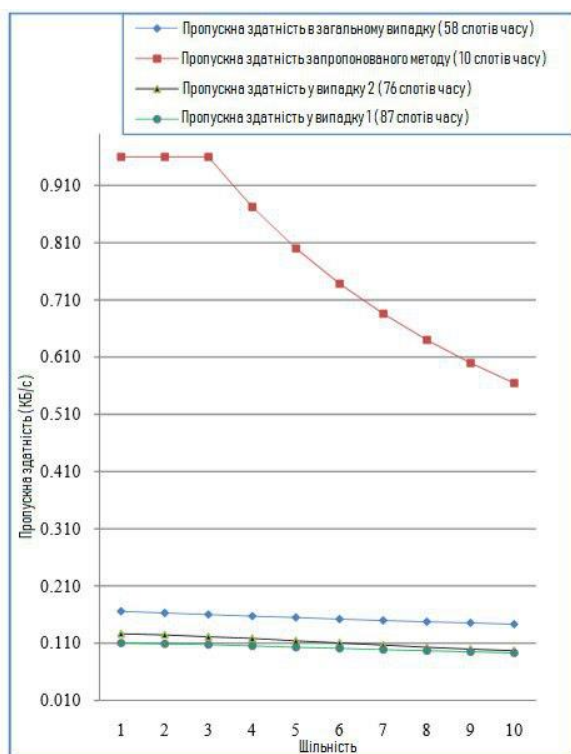


Рис. 2.4. Зв'язок між щільністю мережі та пропускною здатністю

Відповідно до Рис. 2.4, підхід перевищує [1] і [2] в термінах смуги пропускання, оскільки, і за формулою (3), довжина суперкадра є знаменником швидкості смуги пропускання, тому, якщо ми зменшимо довжину суперкадра. (як у випадку цього підходу в порівнянні з пропускною здатністю в загальному випадку і пропускної здатності, розрахованої в [1] і [2]), швидкість буде більшою, і навпаки (зворотна залежність). Можна зробити висновок, що, агрегуючи дані в мережі, збільшиться довжина суперкадрів і, таким чином, зменшиться пропускна здатність для кожної з них.

## 2.6 Взаємозв'язок між довжиною суперкадра, раундом і розміром пакета

Тривалість "раунда" безпосередньо пов'язана з довжиною суперкадра, а також залежить від розміру пакета, коли зміна одного параметра може впливати на інших. Наприклад, щоб збільшити свіжість даних (тобто зменшити

тривалість раунду), довжина суперкадра повинна бути зменшена або шляхом видалення тимчасових інтервалів (тобто мінімізації кількості вузлів), або зменшенням розміру пакетів, дозволених для передачі кожним вузлом (Рис.2.5). В обох випадках точність буде зменшуватися. Таким чином, між цими параметрами є чіткий компроміс.

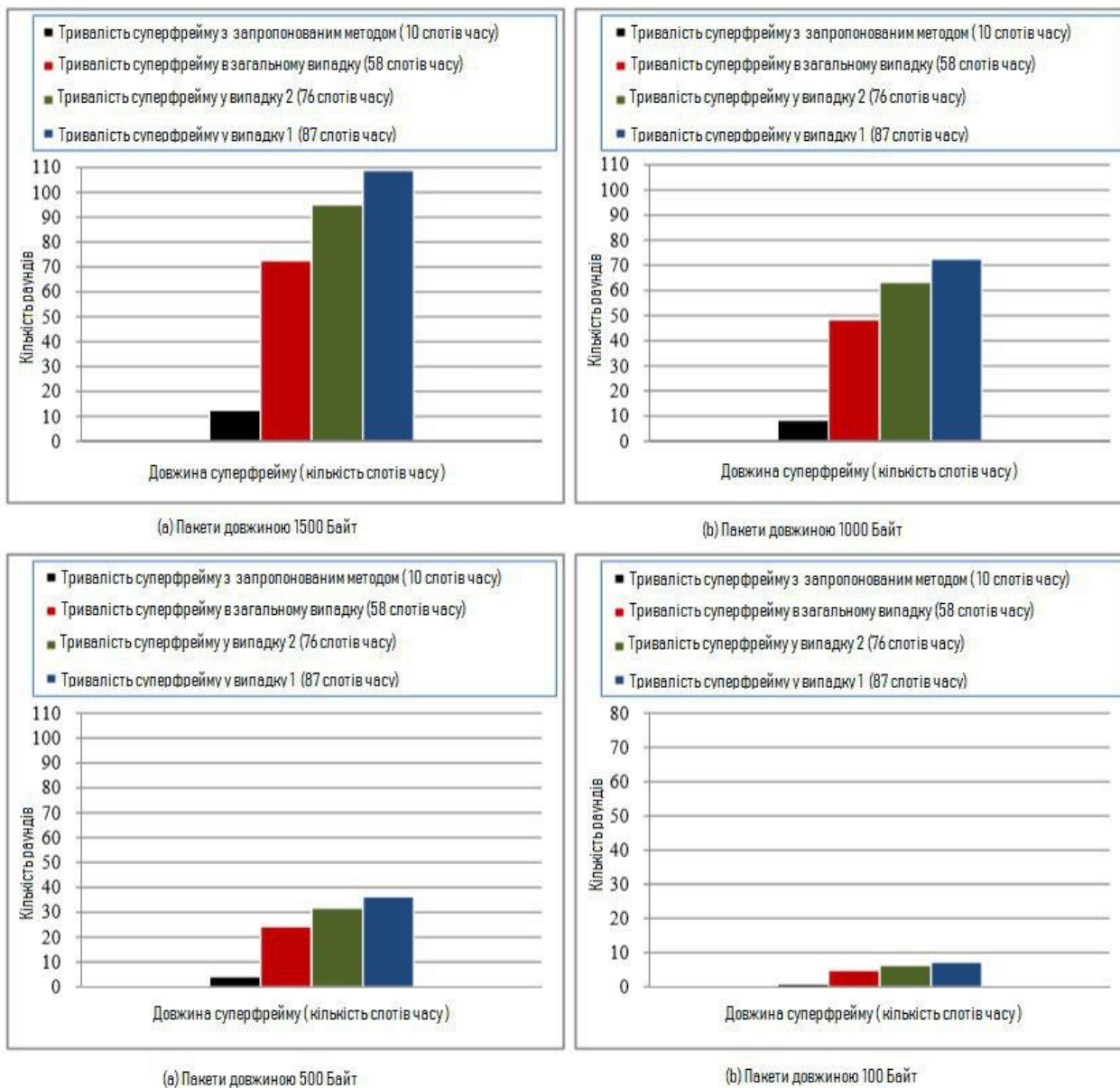


Рис. 2.5. Зв'язок між довжиною суперкадра, раундом і розміром пакета

З Рис. 2.5 зауважимо, що вузли, які дозволяють відправляти пакети великих розмірів (наприклад, 1500 байтів) у своїх часових інтервалах, завжди більше впливають на збільшення довжини суперкадра. Можна також помітити,



що вузли, яким дозволено відправляти пакети великих розмірів (наприклад, 1500 байт) у своїх часових інтервалах, витрачають менше часу, ніж підходи [1] і [2]. Насправді, в МСМ з 58 розгорнутими вузлами, що дозволяють кожному відправляти пакет на 1500 байт у своєму часовому інтервалі, тривалість суперкадра (або свіжість даних) досягає всього 12,5 секунд (95 секунд з суперкадром, зображеним у [2], 108,75 секунди у [1]), і те ж саме, де кожен вузол може відправляти пакет 1000, 500 і 100 байт, тривалість звітного періоду досягає 8,33, 4,17 і 0,83 секунди відповідно (63,33, 31,67 і 6,33) секунд з суперкадром в [2], 72,5, 36,25 і 7,25 секунд з підходом, наведеним у [1]).

Згідно з наведеними вище цифрами, можна зробити висновок, що запропонований підхід перевершує як [1], так і [2], з точки зору пропускнуої здатності, точності та свіжості даних.

### **Висновок до розділу:**

Вивчається проблема планування TDMA з використанням агрегації даних в мобільних сенсорних мережах. TDMA має природну перевагу вільного від зіткнення доступу до середовища, але в деяких протоколах це призводить до перешкод через повторне використання слота. Адаптація до топологічних змін є ще однією проблемою, з якою стикається система TDMA, оскільки ці зміни викликані багатьма факторами, як введення нових вузлів, вичерпання ємностей акумуляторів, порушення зв'язків (викликаних перешкодами), графіки сну для ретрансляційних вузлів і планування, викликане алгоритмами кластеризації. У децентралізованому середовищі непросто змінити призначення слотів для традиційної TDMA.

### **РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ПІДВИЩЕННЯ ПАРАМЕТРІВ QoS В МСМ НА ОСНОВІ СПІРАЛЬНОЇ КЛАСТЕРНОЇ АРХІТЕКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ TDMA**

Бездротові сенсорні мережі складаються з окремих вузлів, які можуть взаємодіяти з навколишнім середовищем шляхом контролю чи вимірювань фізичних параметрів. Однак, ці датчики розгортаються випадковим чином і в великому масштабі, що створює величезну кількість надлишкових зчитуваних даних, які насичують мережеві ресурси і споживають енергію вузлів.

Багато додатків МСМ вимагають якості сервісу (QoS) з точки зору високої пропускної здатності для додатків реального часу, включаючи мультимедійне аудіо та відео без великої затримки. Для цього а також для зменшення кількості пакетів, переданих до вузла-приймача, агрегування даних може бути ефективним методом.

Основна мета алгоритмів агрегування даних - збір та агрегування даних таким чином, щоб час життя мережі збільшувалася і пропускна здатність, зарезервована для кожного вузла, збільшувалася.

Усунення колізій і простою прослуховування для низького енергоспоживання в мережі є важливою проблемою, яка вирішується за допомогою використання протоколів детермінованого доступу, такого як TDMA, які є більш енергоефективними, оскільки вузли в мережі можуть переходити в неактивний стан до тих пір, поки час слоту не буде їм призначено.

Досліджуваний метод спрямований на максимальне збільшення пропускної здатності, зарезервованої для кожного сенсорного вузла.

У цій роботі представлено метод з спіральною кластерною архітектурою з агрегацією даних, що поєднує агрегацію даних з TDMA протоколом в МСМ для поліпшення зв'язку і запобігання міжкластерних колізій, а також для збільшення пропускної здатності, зарезервованої для кожного сенсорного вузла,

обчислюючи довжину суперкадру, що генерується всіма сенсорними вузлами в мережі.

Отже, в майбутньому можливі напрямки досліджень щодо впливу кожного тимчасового інтервалу на кожен сенсорний вузол.

Новий метод полягає в наступному: по-перше, при створенні нових кластерів в спіральній архітектурі кожен кластер мав тільки два вузла, голова кластера і член кластера, по-друге, після завершення формування кластера всі члени кластерів рівновіддалені від кластерів на 3 рівні можуть одночасно передавати дані в свої відповідні голови кластерів без міжкластерних колізій.

### **3.1. Модель системи і визначення**

Розглянемо MCM, що складається з 58 однорідних вузлів датчиків {ID1, ID2 ... ID58} і вузла приймача ID0. Ми враховуємо, що наша мережа працює без міжкластерного або внутрішнього кластерного втручання, і всі ці сенсорні вузли схожі і зчитують одні й ті ж події (наприклад, температуру). Ми застосовуємо ідеальну модель агрегації даних і протокол планування заснований на TDMA, що показано на рис. 3.1. Ця мережа характеризується:

- Мережевою архітектурою: ми припускаємо, що наша мережева архітектура побудована по спіралі і що кожен кластер має тільки тільки два датчика, дочірній вузол або член кластера (ЧК) і голова кластера (ГК), яка буде дочірнім вузлом в іншому кластері, міжкластерні комунікації якого виконуються головами кластерів (ГК).

- Синхронізацією датчиків: синхронізація часу мережі може бути виконана за допомогою алгоритму синхронізації, або шляхом відправки сигналу від приймачів або іншого об'єкту, здатного досягти всіх датчиків .

Визначаємо Раунд (або звітний період) як період розкладу TDMA, що складається з «Т тимчасових інтервалів», який є процесом збору та агрегування даних з усіх вузлів в приймач. В кожному часовому інтервалі всі відправники та



<b>Ts</b>	Вказує тривалість тимчасового інтервалу
-----------	---

Я взяла за приклад, як показано на рис. 3.1, 3.2 і 3.3, щоб краще зрозуміти розрахунок довжини нашого суперкадра TDMA, і те, як зміни щільності безпосередньо впливають на пропускну здатність, зарезервовану для кожного вузла, і для оцінки даної роботи я взяла за приклад деревоподібну кластерну мережу.

### 3.3. Обчислення довжини суперкадра

Ввузли ID19 і ID20 знаходяться в одному кластері, тому вони знаходяться поруч, а вузли ID8 і ID10 не можуть чути один одного (не перебувають в одному кластері). Для кожного кластера є голова кластеру (ГК), яка агрегує дані, отримані від дочірніх вузлів, і передає їх батьківському вузлу.

Як правило, з рис. 2.1, де кожен часовий інтервал зарезервований для одного і лише одного вузла датчика для передачі свого пакету, було розраховано довжину суперкадру, коли зондування здійснюється всіма вузлами, і одночасні передачі між кластерами не виконуються. Довжина суперкадру дорівнює кількості всіх вузлів датчика. Як можна помітити на рис. 2.2, суперкадр складається з 3 частин (квадрати трьох різних кольорів): 22 часові слоти для агрегування та передачі 22 потоків з 22 дочірніх вузлів кластера рівнів «3» та «6», 21 часовий інтервал для агрегування та передачі 21 потоку з 21 дочірнього вузла кластера рівнів «2» та «5», 15 часових інтервалів для агрегування та передачі 15 потоків з 15 дочірніх вузлів кластера рівнів «1» та «4». Довжина суперкадру TDMA у деревній кластерній мережі з глибиною, рівною «H», отримується за такою формулою (4):

$$Length = \sum_{i=1}^H \left[ \sum_{j=1}^{Nc(i)} Ch(C_j^i) \right] \quad (4)$$

де «Н» позначає глибину дерева, тобто кількість рівнів в мережі. З формули (4) видно, що в суперкадрі достатньо місця для потоків вузлів, які можуть надсилатися одночасно один з одним (Рис 2.2).

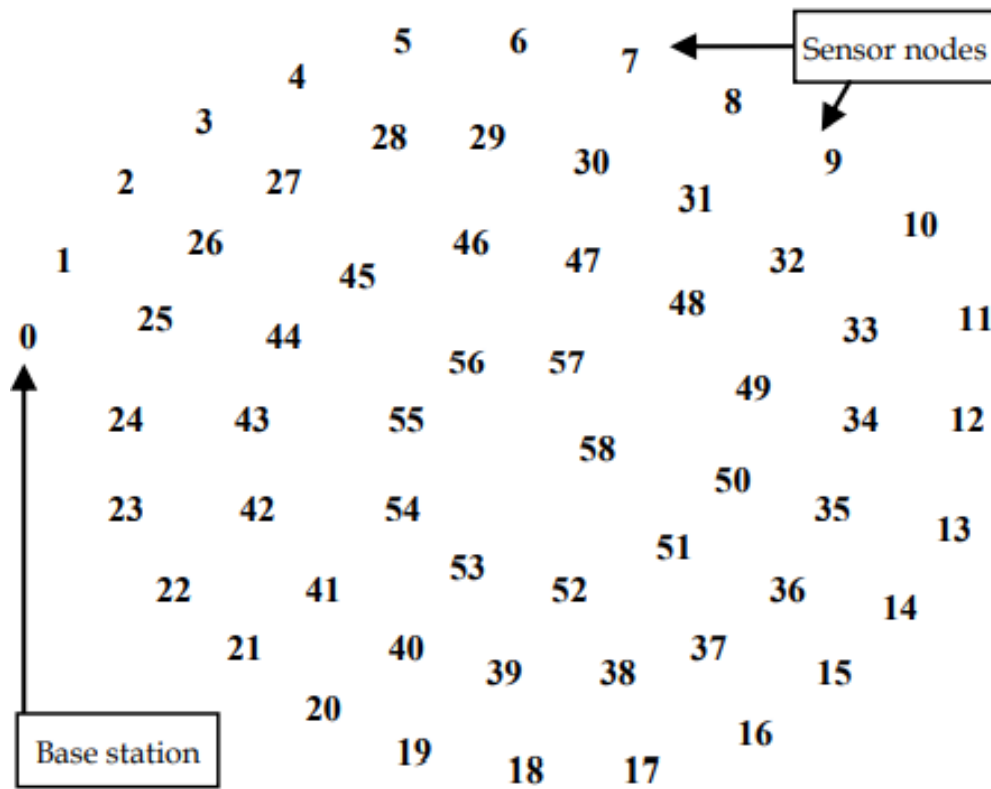


Рис 3.1 Запроваджена модель мережі

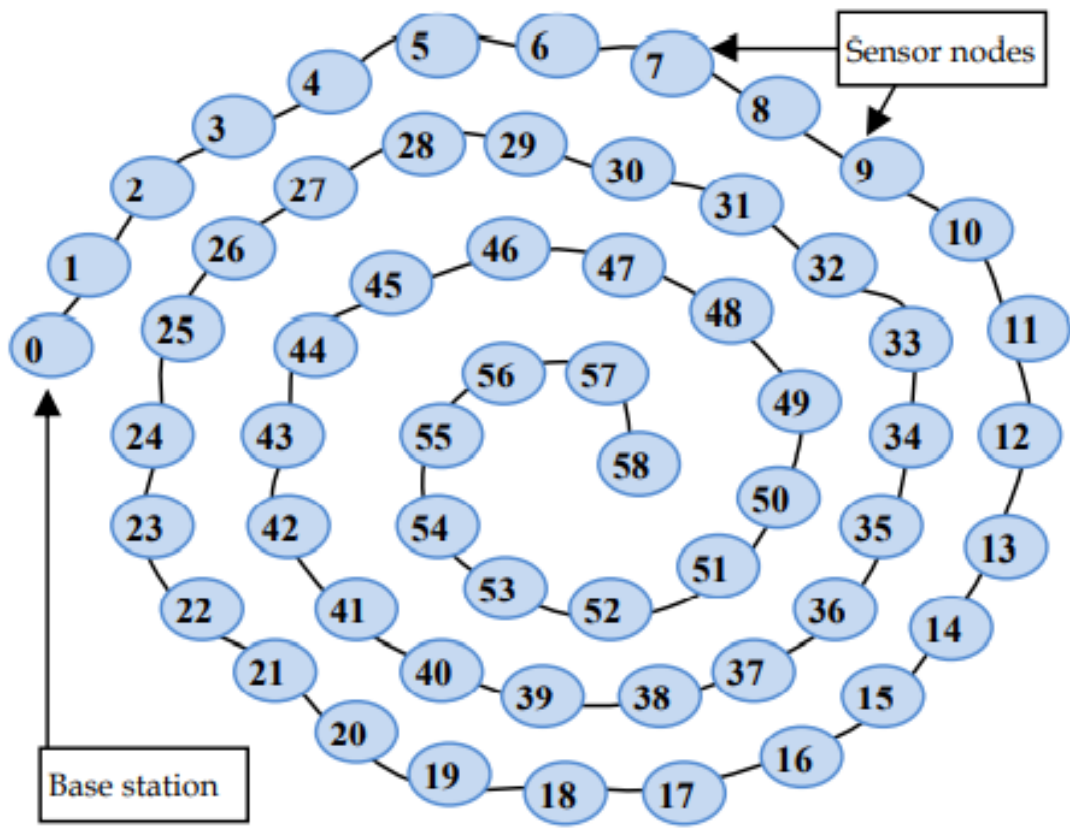


Рис. 3.2. Спіральна мережева модель.

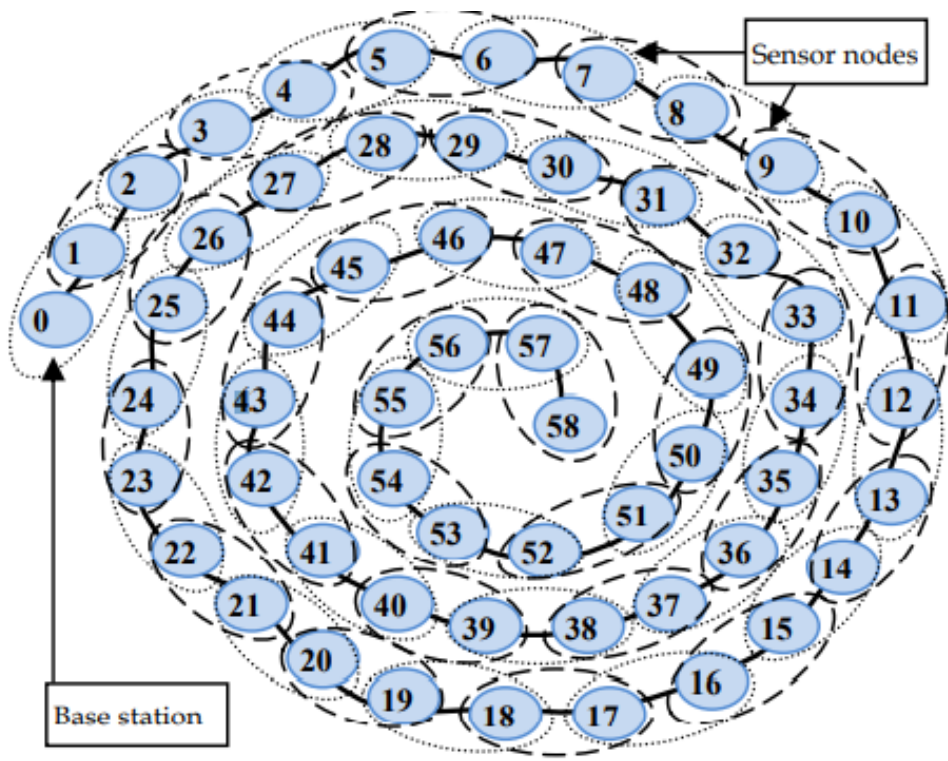


Рис. 3.3. Спіральна кластерна сенсорна мережа.

На рис. 3.3 кожна група з двох датчиків формує кластер, тому датчики ID58 і ID57 знаходяться в кластері C1.58, датчики ID57 і ID56 знаходяться в кластері C1.57 і так далі, поки не буде досягнутий базовий датчик (ID0), який знаходиться в кластері C1.1 з датчиком ID1.

### 3.4. Попередній пропонований підхід

У моїй попередній роботі я вирахувала довжину суперкадра, коли зондування виконується будь-яким вузлом і одночасні передачі виконуються кластерами одного рівня і трьома рівновіддаленими. Я розглянула найповніший випадок, коли будь-який вузол датчика в мережі зчитує дані і проміжні вузли також виявляють, агрегування і передачу даних.

Щоб збільшити пропускну здатність, зарезервовану для кожного вузла датчика, і обмежити проблему колізій між датчиками, ми запропонували архітектуру зв'язку, в якій вузли працюють в TDMA, і для цього запропоновано формулу, яка дозволяє нам обчислити довжину суперкадра, де виявлення подій здійснюється усіма вузлами та одночасні передачі виконуються як кластерами одного рівня, так і віддаленими вузлами трьох рівнів.

У всіх описаних вище випадках проміжні вузли також зчитують, агрегують і передають дані.

$$Length = \sum_{d=1}^3 \text{Max}_{h \in \{d+3g\}_{(g=0..H)}} \left\{ \text{Max}_{i=1}^{N_c(h)} \{Ch(C_i^h)\} \right\} \quad (5)$$

З «(5)» ми можемо помітити, що довжина суперкадра складається з 3 різних частин відповідно до змінної d, як проілюстровано на рис.3.4.

### 3.5. пропонований підхід

У даній роботі основна увага приділяється новій архітектурі, заснованій на спіральній кластерній MCM з використанням агрегації даних (SBCDA), де вузли згруповані в кластери, і кожен кластер має тільки два вузла датчиків, один



з яких представляє ГК, а інший - дочірній вузол або ЧК. Канали рівновідалених на три рівні кластерів можуть працювати (відправляти свої пакети) одночасно, що означає, що наш новий суперкадр складався з трьох частин, якщо ми застосуємо формулу (5), як показано на малюнку 3.4, де:

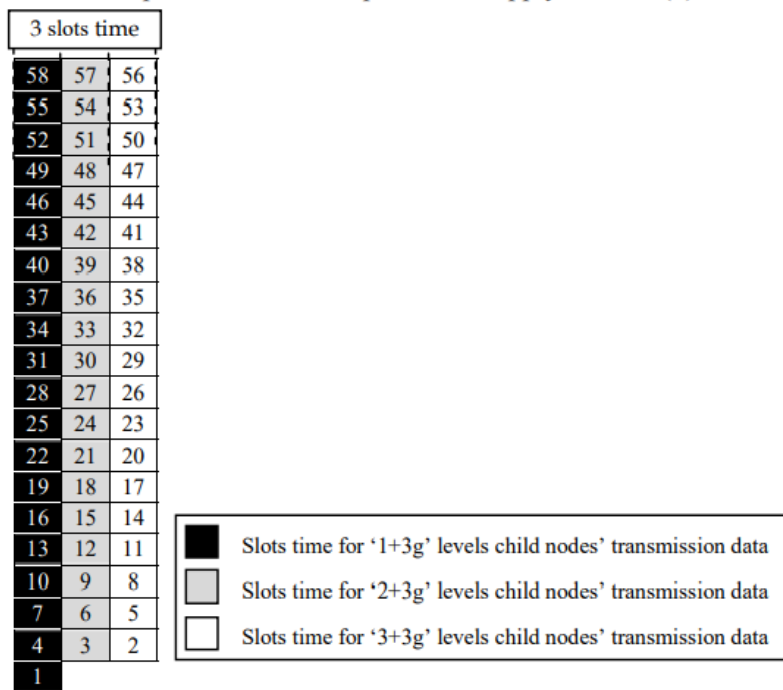


Рис. 3.4 Розрахунок довжини суперкадра SBCDA.

Якщо взяти  $d = 1$ ;  $d = 2$  або  $d = 3$ :

$$\text{Max}_{h \in \{d+3g\}_{(g=0..H)}} \{ \text{Max}_{i=1}^{Nc(h)} \{ Ch(C_i^h) \} \} = 1 \quad (6)$$

Отже, хоч би якою була щільність мережі, наш згенерований суперкадр у всіх випадках завжди дорівнює трьом,

$$\text{Length} = \sum_{d=1}^3 \text{Max}_{h \in \{d+3g\}_{(g=0..H)}} \{ \text{Max}_{i=1}^{Nc(h)} \{ Ch(C_i^h) \} \} = 3 \quad (7)$$

### 3.6. Розподіл пропускної здатності

Коли у нас є довжина суперкадра, ми можемо обчислити коефіцієнт пропускної здатності, виділений для кожного датчика в мережі. Пропускна

здатність - це обсяг трафіку, що відправляється кожним вузлом в мережі під час моделювання.

Цей показник варіюється по довжині суперкадра, розрахованої відповідно до щільності мережі. Цей коефіцієнт пропускної здатності «В» розраховується за формулою (5), і ми отримуємо:

$$B = \frac{1}{\text{SupeframeLength}} \quad (8)$$

Оскільки довжина суперкадра постійна і довжина приймається як 3 (формула (5)), отриманий коефіцієнт пропускної здатності буде:

$$B = 1/3 \text{ (формула (8))}.$$

Оскільки кожна група сенсорних вузлів відправляє свої пакети за один і тільки один часовий інтервал, коефіцієнт пропускної здатності, зарезервований для кожного з них однаковий для всіх датчиків, тобто всі датчики мають однаковий коефіцієнт пропускної здатності.

### 3.7. Мережева затримка

Мережева затримка, також відома як наскрізна затримка, - це час, необхідний пакету для проходження мережі від сенсорного вузла до пункту призначення (приймального вузла). Затримка і пропускна здатність визначає швидкість і ємність мережі.

У даноому підході датчики можуть використовувати середовище для передачі своїх пакетів, як показано на малюнку 3.4, тобто пакети вузла ID1 можуть досягати приймача після одного тимчасового інтервалу, а пакети датчика ID58 передаються в 58 часовому інтервалі, в той час як тривалість де пакети, що передаються між датчиком ID57 і вузлом-приймачем, складають 58 часовий інтервал.

Отже, ми можемо узагальнити нашу формулу затримки, оскільки пакети кожного сенсорного вузла можуть досягати приймача після:

$$R_t = (id + ((NbS - id) \bmod 3)) * Ts(\text{time.unit}) \quad (9)$$

де  $R_t$  - час відгуку, тобто вся тривалість, протягом якої реєструються події що передаються у вигляді пакетів від джерела (сенсорний вузол) в пункт призначення (кінцевий вузол).

### 3.8. Дослідження продуктивності

Було проведено кілька симуляцій, щоб довести запропоновану формулу, яка гарантує пропускну здатність, з налаштуваннями представленими в таблиці 3.2.

#### 3.8.1. Щільність мережі проти пропускну здатності

На рис.3.5 порівнюється пропускну здатність запропонованого підходу з іншими, де кластер  $C$  має, спочатку один дочірній вузол ( $Ch(C) = 1$ , що є ідентифікатором вузла 18).

У цьому моделюванні ми поступово збільшуємо кількість дочірніх вузлів в цьому кластері, поки не досягнемо 3 датчиків, тобто  $Ch(C2) = 3$ , а потім перевищуємо для  $Ch(C2) = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ . Зверніть увагу, що в цьому випадку пропускну здатність поступово зменшується при додаванні інших вузлів.

Таблиця 3.2. Налаштування моделювання.

Symbols	Meanings
Number of sensors	58
Packets size	90 Octet
Simulation duration	150 s
MAC layer	TDMA
Channel bit rate	9.6 Kbps
Length of Slot time	75 ms

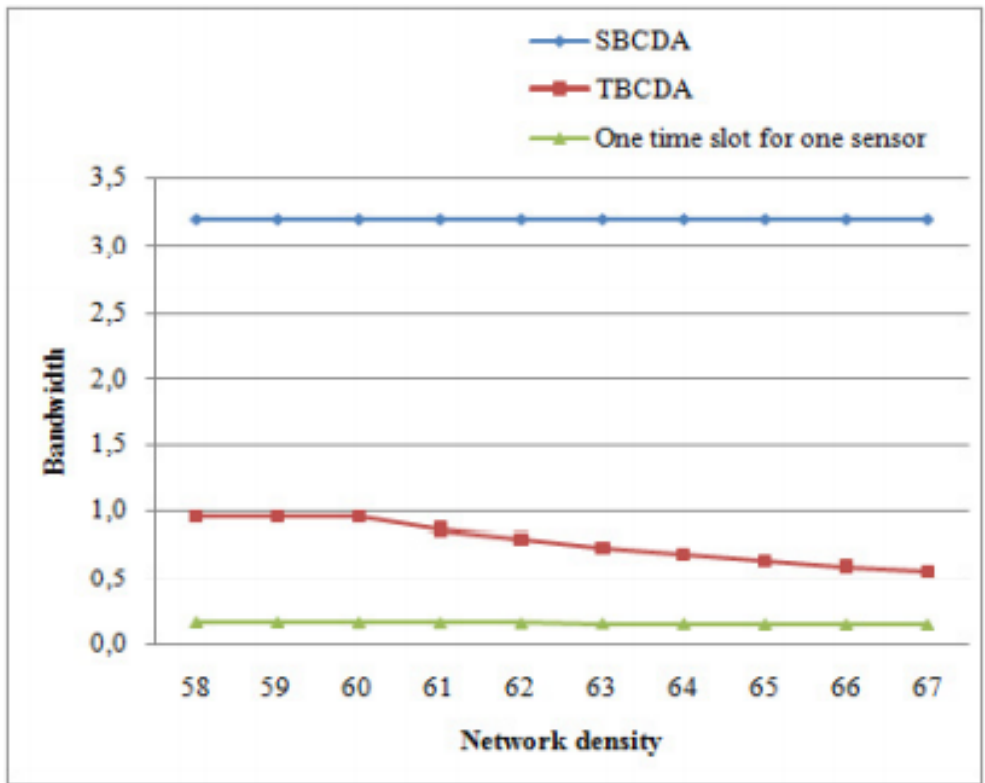


Рис. 3.5. Щільність мережі в залежності від пропускної здатності.

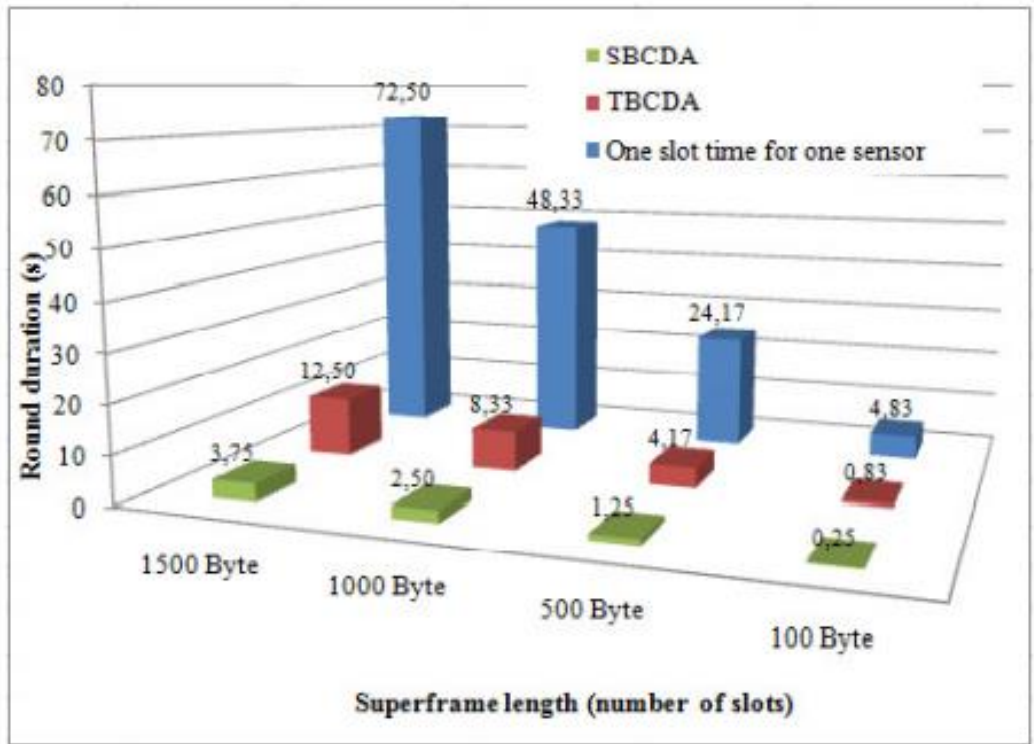


Рис. 3.6. Взаємозв'язок між довжиною суперкадра, раундом і розміром пакету.

Згідно рис. 3.5, новий підхід забезпечує кращу пропускну здатність, оскільки, згідно з формулою (8), довжина суперкадру є знаменником пропускнуї здатності, тому, якщо ми зменшимо довжину суперкадру (як у випадку нашого підходу в порівнянні з TBCDA і тим, де кожне  $T_s$  призначається тільки для одного вузла), швидкість буде збільшуватися і навпаки (зворотна залежність).

Ми прийшли до висновку, що практично це означає, що додавання інших вузлів в мережу не впливає на довжину суперкадру і тому не впливає на зарезервовану смугу пропускання для кожного датчика.

### 3.8.2. Довжина суперкадру і раунду в залежності від розміру пакета

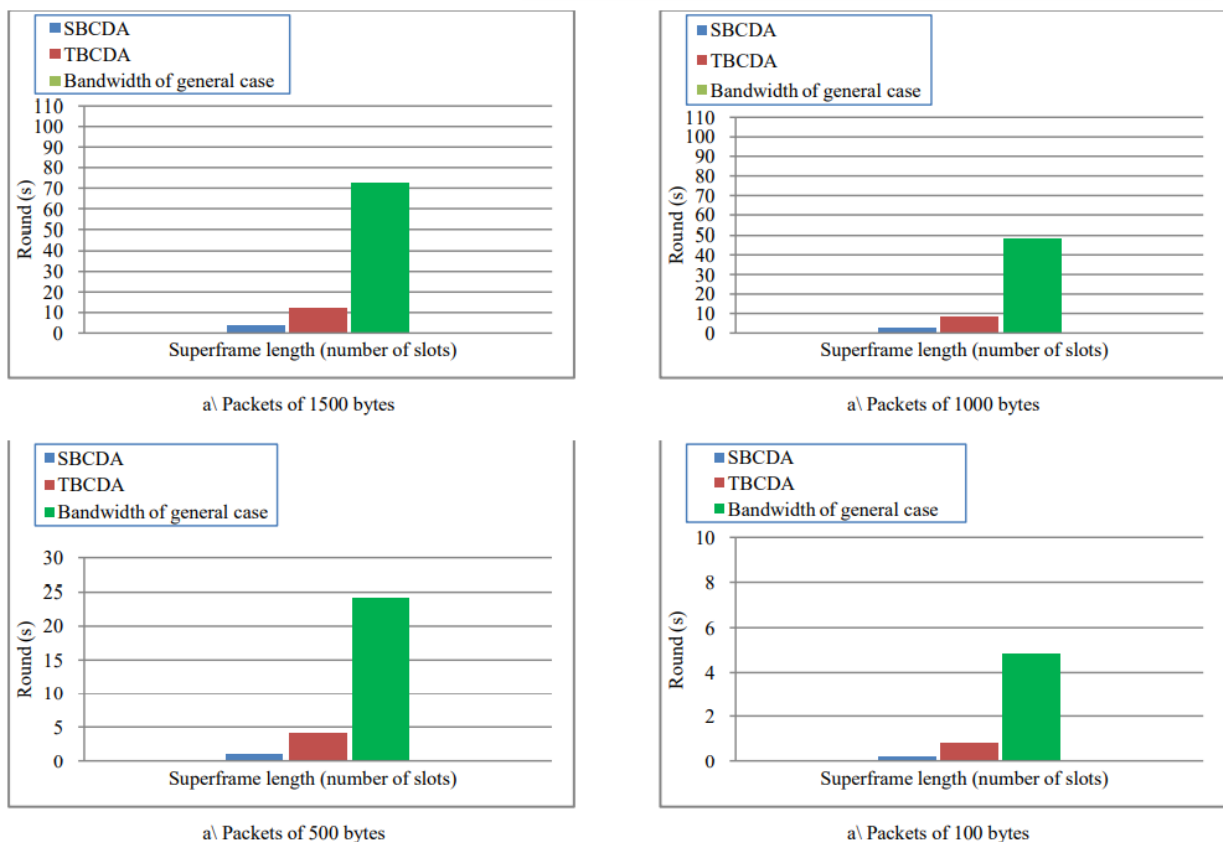


Рис. 3.7 Зв'язок між довжиною суперкадру, раундом та розміром пакету

Тривалість «раунду» безпосередньо пов'язана з довжиною суперкадру, і це також залежить від розміру пакета, де зміна одного параметра може вплинути на інші. Наприклад, щоб збільшити свіжість даних (тобто зменшити тривалість раунду), довжину суперкадру слід зменшити або шляхом видалення часових інтервалів (тобто мінімізує кількість вузлів), або зменшенням розміру пакетів, дозволених для відправки кожним вузлом (рис. . 3.7). В обох випадках точність буде зменшуватися. Отже, між цими параметрами є чіткі компроміси.

З рис. 3.7 ми зазначаємо, що вузли, яким дозволено надсилати пакети великих розмірів (наприклад, 1500 байт) у свої часові інтервали, завжди більше піддаються впливу при збільшенні довжини суперкадру.

### **Висновок до розділу:**

У цій роботі досліджується проблема планування TDMA з агрегуванням даних в мобільних сенсорних мережах TDMA має природну перевагу доступу до середовища без колізій, але в деяких протоколах це призводить до перешкод через повторне використання слота. Адаптація до змін топології - ще одна складність, з якою стикається система TDMA, оскільки ці зміни викликані багатьма чинниками, такими як установка нових вузлів, вичерпання ємності батареї, непрацюючі посилення (викликані перешкоди), розклад сну вузлів ретрансляції і планування, викликане алгоритмами кластеризації. У децентралізованому середовищі непросто змінити призначення слотів для традиційного TDMA.

Після обчислення довжини суперкадра ми встановлюємо взаємозв'язок між цією довжиною для даної топології, виражається, з одного боку, через щільність, а з іншого - пропускну здатність. Було розраховано пропускну здатність і показано, як положення доданого вузла безпосередньо впливає на довжину суперкадра і, отже, на виділену смугу пропускання.

Крім того, запропонована методика забезпечує швидшу доставку даних в головку кластера (ГК) за схемою TDMA, що дуже важливо для додатків реального часу.

## **РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ**

У розділі проведено маркетинговий аналіз стартап проекту для визначення можливості ринкового впровадження сенсорних мереж з покращеною пропускнуою здатністю, за допомогою запропонованого методу. Проведення маркетингового аналізу передбачає виконання нижче наведених кроків.

### **4.1 Опис основної ідеї проекту**

В межах підпункту послідовно проаналізовано та подано у вигляді таблиці:

- зміст ідеї – впровадження сенсорних мереж з покращеною пропускнуою здатністю;
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що отримає користувач;
- чим відрізняється запропонований метод від існуючих аналогів.

Перші три пункти подані у вигляді таблиці (таблиця 4.1), що дає цілісне уявлення про зміст ідеї та потенційні ринки.



Таблиця 4.1- Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї стартап-проекту	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Впровадження сенсорних мереж з покращеною пропускною здатністю	Системи спостереження в військовій техніці	За рахунок покращення швидкості буде більш швидке реагування на дії ворожих об'єктів
	Система спостереження за здоров'ям	За рахунок покращення швидкості буде більш швидке реагування на погіршення здоров'я пацієнта
	Система контролю за забрудненням повітря	За рахунок покращення швидкості буде більш швидке реагування на викиди шкідливих газів
	Система контролю за якістю води	За рахунок покращення швидкості буде більш швидке реагування на на забруднення шкідливими речовинами
	Системи призначені для попередження катаклізм	За рахунок покращення швидкості можна раніше зреагувати на лихо, та раніше здійснити евакуацію людей, або запобігти лиху при можливості
	Системи спостереження за навколишнім середовищем	За рахунок покращення швидкості можна раніше зреагувати на певні зміни

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї стартап-проекту у порівнянні із пропозиціями конкурентів передбачає:

- а) визначення техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї стартап- проекту;
- б) визначення попереднього кола конкурентів, що існують на ринку, та проведення збору інформації щодо техніко-економічних показників для власного стартап- проекту та проектів-конкурентів;
- в) проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначені показники, що мають:
  - 1) гірші значення (слабкі - W);
  - 2) кращі значення (сильні S) .

Таблиця 4.2 - Визначення сильних та слабких характеристик

	Потенційні товари/концепції конкурентів	
	Мій проект	«Розподіл пропускної здатності в сенсорних мережах на основі пріоритету данні x» Andrea Marin, Sabina Rossi
W слабка сторон а	Всі данні передаються з однаковою пропускною здатністю і поступаються швидкості передачі пріорітизованих даних методу конкурентів	Нижчий середній показник пропускної здатності

S Сильна сторона	Високий середній показник пропускної здатності мобільних сенсорних мереж	Високий показник пропускної здатності при передачі пріоритизованих даних
------------------------	--	--

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати дану ідею проекту з покращеною пропускною здатністю, за допомогою запропонованого методу.

Визначення технологічної складової для реалізації ідеї проекту передбачає аналіз складових, (таблиця 4.3):

а) за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?

б) чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?

в) чи доступні такі технології авторам проекту?

За результатами аналізу можна зробити висновок, що технологічна реалізація проекту за допомогою існуючих технологічних засобів можлива.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея стартап-проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Покращення пропускної здатності мобільних сенсорних мереж	Технологія доступу до даних на основі спіральної архітектури з використанням протоколу TDMA та агрегування даних	Наявна	Доступна
Висновок: реалізувати проект можливо.			

#### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Проводимо аналіз попиту: наявність попиту та його обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од.	100
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	?
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації /сертифікації	Немає

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюється із банківським відсотком на вкладення. За умови, що останній є вищим, можливо, має сенс вкласти кошти в інший проект. За результатами аналізу можемо зробити висновок, що ринок є привабливим для входження.

Далі визначимо потенційні групи клієнтів та їх характеристики, зформуємо орієнтовний перелік вимог до товару (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільовий сегмент ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до системи
1	Швидка передача даних МСМ	Військовий сегмент, медичний, екологічний.	Особливості купівлі технології: компанії заключають довготривалі договори, в свою чергу, стартапи віддають перевагу випробувальному терміну Використання: компанії вимагають точну та швидку роботу мережі	Стабільність роботи Наявність випробувального періоду Наявність документації Точність та швидкість роботи

Після визначення потенційних груп клієнтів проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що будуть сприяти ринковому впровадженню проекту чи перешкоджати (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№ п/ п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Низький попит	Велика різноманітність аналогів	Проведення активної рекламної компанії
2	Обмеженість функцій	Алгоритм обмежений здатністю технологічного обладнання	Використання високотехнологічного обладнання при виникненні потреби

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№ п/ п	Фактори	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Відсутність повноцінних альтернатив	Індустрія зростає з кожним роком	Вихід на глобальний ринок

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку. Аналіз пропозиції необхідно виконати аналізуючи існуючі види конкуренцій. Пропозиції повинні відповідати на питання “Як просувати продукт”. Аналіз пропозицій зображено на таблиці.

Таблиця 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність компанії (можливі дії компанії, щоб стати конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/чиста /монополістична	чиста	Укладання прямих договорів з компаніями, просування продукту на конференціях
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний	національний	Публікація статей на міжнародних сайтах
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/внутрішньогалузева	внутрішньогалузева	Покращувати наявні функції
4. Конкуренція завидами товарів: - товарно-видова - товарно-родова - між бажаннями	товарно-видова	Покращувати наявний функціонал
5. За характером конкурентних переваг - цінова та нецінова	нецінова	Надання параметрів пропускнуої здатності, які не надають конкуренти
6. За інтенсивністю - марочна/немарочна	марочна	Надання функціоналу, що не надають конкуренти



Таблиця 4.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари замітники
	«Розподіл пропускної здатності в сенсорних мережах на основі пріоритету данни x» Andrea Marin, Sabina Rossi	Мінімізація витрат часу постачальників	Контроль якості	Лояльність споживачів
Висновки	Можливість виходу на ринок, тому що існуючі рішення не надають аналогічних переваг	Постачальники підлаштовуються під ринок	Клієнти диктують вимоги опираючись на умови експлуатації	Обмеження для роботи через товари замітники

На основі аналізу конкуренції, проведеного у таблиці 4.8, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту(таблиця 4.9), вимог споживачів до товару (таблиця 4.6) та факторів маркетингового середовища(таблиця 4.7) визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1	Швидкість передачі	Існуючі конкуренти не мають таких алгоритмів, які здатні так швидко передавати данні як запропоновано в моєму підході

За визначеними факторами конкурентоспроможності(таблиця 4.10) проводимо аналіз сильних та слабких сторін даного стартап-проєкту(таблиця 4.11).

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз слабких та сильних сторін

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товару-конкурентів порівнянні з даним продуктом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Швидкість обробки	20			+				

Фінальним кроком ринкового аналізу можливостей впровадження проєкту є SWOT-аналіз (матриця аналізу сильних(Strength), слабких(Weakness) сторін, загроз(Threds) та можливостей(Opportunities) (таблиця 4.11) на основі раніше виділених ринкових загроз, можливостей, сильних та слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та можливостей складаємо на основі аналізу факторів загроз та можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози, ринкові можливості є прогнозованими результатами впливу факторів, які ще не реалізовані на ринку та мають деяку ймовірність здійснення.

Таблиця 4.12 - SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Високий середній показник пропускної здатності мобільних сенсорних мереж	Слабкі сторони: Всі данні передаються з однаковою пропускною здатністю і поступаються швидкості передачі пріорітизованих даних методу конкурентів
Можливості: Відсутність повноцінних альтернатив	Загрози: Низький попит

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складаємо на основі аналізу факторів загроз та можливостей маркетингового середовища.

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки Реалізації
1	Орієнтація поточної моделі на ринок спостереження та охорони природи	40%	400 год
2	Орієнтація поточної моделі на ринок медичних закладів	20%	200 год
3	Орієнтація поточної моделі на ринок спостереження та охорони людей	40%	400 год

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

У даному підрозділі проаналізовано ринкові стратегії, визначено стратегії охоплення ринку: описані цільові групи потенційних споживачів(таблиця 4.14).

За результатами аналізу були обрані цільові групи потенційних споживачів, для яких пропонується дана технологія, та визначається стратегія охоплення ринку .

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Ринок спостереження та охорони природи	Готові	Високий	Висока	Просто
2	Медичні заклади	Потребують переговорів	Високий	Середня	Складно
3	Ринок спостереження та охорони людей	Готові	Високий	Висока	Просто
Які цільові групи обрано: ринок спостереження та охорони людей та природи					

Для роботи в цих сегментах ринку сформуємо базову стратегію розвитку (таблиця 4.15).

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку Проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Орієнтація поточної моделі на ринок спостереження та охорони природи	Стратегія концентрованого маркетингу	Корпорації, які займаються розробкою систем моніторингу навколишнього середовища	Стратегія спеціалізації (спирається на диференціацію)
2	Орієнтація поточної моделі на ринок спостереження та охорони людей	Стратегія концентрованого маркетингу	Корпорації, які займаються попередженням катаклізмів, розробкою систем спостереження в військовій техніці	Стратегія спеціалізації (спирається на диференціацію)

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту.

Наступний крок - вибір стратегії конкурентної поведінки на ринку (таблиця 16).

Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є стартап-проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде дана компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде дана компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	забирати існуючих у конкурентів	Так. Потрібно збільшити набір вбудованого в систему функціоналу, потрібно зменшити кількість необхідних ресурсів для проектування МСМ, для заохочення існуючих споживачів потрібно запропонувати МСМ з більш швидкою передачею даних.	Стратегія заняття конкурентної ніші

З обраних сегментів до стартап-компанії та до продукту розробляється стратегія позиціонування(таблиця 4.17), що полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару від цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Швидкість та точність роботи Невисока ціна Наявність документації	Стратегія спеціалізації (спирається на диференціацію )	Корпорації, які займаються розробкою систем моніторингу навколишнього середовища, попередженням катаклізмів, розробкою систем спостереження в військовій техніці потребують високої швидкості передачі даних, яку надає моя розробка	Пришвидшення роботи мережі

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми проекту

У таблиці 4.18 відображені результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару на ринку.

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Пришвидшення пропускної здатності МСМ	Висока швидкість передачі даних	Перевага перед більшістю конкурентів в вищих показниках пропускної здатності

Далі розроблена трирівнева маркетингова модель товару(таблиця 4.19).



Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Швидка передача даних в МСМ		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристика	М/Н М	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	можливість оптимізації витрат часу	М	Тл
	Можливість оптимізації Витрат коштів	М	Вр
	Відповідність актуальним Технологіям	М	Тх
III. Товар із підкріпленням	Потенційний користувач може ознайомитись з роботою системи та її алгоритмами з наукових конференцій, наукових вісників на яких було представлено дану систему		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Назва і контент захищені ліцензією МІТ; захист інтелектуальної власності			

М/Нм – монотонні або немонотонні;

Вр/Тх/Тл/Е/Ор – вартісні, технічні, технологічні, ергономічні або органолептичні(останній – для продуктів харчування)

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним етапом є визначення оптимальної системи збуту(таблиця 4.20):

- проводити збут власними силами чи залучати сторонніх посередників;
- вибір і обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір і обґрунтування посередників.

Таблиця 4.20 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник Товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Доступ до системи повинен надаватися в «повному» обсязі	Легкість в підключені, легкість у сплаті послуг	Розробник даного продукту – компанія - Користувач	Проводити збут за допомогою посередників

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 4.21).

Таблиця 4.21 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, що використовують цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Купують продукт	Комунікації з компанією постачальником, offline/online	Підвищення швидкості передачі даних	Довести, що метод пришвидшить роботу систем, працювати даний метод	-

### Висновок до розділу:

Розроблений метод має переваги над існуючими конкурентами, що робить його конкурентноздатним на ринку. Система має шляхи для подальшого розвитку, проаналізовано шляхи збуту та маркетингова стратегія. Основна цільова аудиторія — це корпорації, які займаються розробкою систем моніторингу навколишнього середовища, попередженням катаклізмів, розробкою систем спостереження в військовій техніці, що потребують високої швидкості передачі даних, яку надає моя розробка.

## ВИСНОВОК

У даній роботі було проведено дослідження методів підвищення пропускної здатності мобільних сенсорних мереж.

Пропонується нова схема TDMA для побудови набору зв'язку протягом кожного часового інтервалу на основі максимальних дочірніх вузлів на кожному рівні мережі. За допомогою моделювання було показано, що запропонований підхід є оптимальним у порівнянні з загальною схемою випадків і попередніми рішеннями. У рамках роботи моя схема була розширена за допомогою агрегації даних, а також зміни архітектури з древовидної на спіральну. Як тільки була розрахована довжина суперкадра, був встановлений зв'язок між цією довжиною для даної топології, що виражається, з одного боку, з точки зору щільності, і пропускною здатністю на іншій. Була розрахована пропускна здатність, і показано, як положення доданого вузла має прямий вплив на довжину суперкадра, а отже, на виділену пропускну здатність. Це також впливає на скорочення часу передачі. Більш того, запропонована методика забезпечує більш швидку передачу даних в ГК з використанням схеми TDMA, що є дуже важливим для додатків реального часу в порівнянні з моєю попередньою роботою.

Запропонований мною підхід, що до використання способу на основі протоколу TDMA для мобільних сенсорних мереж, при подальшому вивченні та дослідженні має великі можливості розвитку та впровадження даного способу в реальні мобільні сенсорні мережі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wassim Masri, Zoubir Mammeri, “Mapping density to bandwidth in tree-based wireless sensor networks”, *Telecommun Syst* (2010) 43: 73– 81, 2010.

2. Tarek Azizi, Rachid Beghdad, Mourad Oussalah, “Bandwidth Assignment in a Cluster-based Wireless Sensor Network”. In the Proceedings of the World Congress on Engineering WCE’ 2013 Vol II,, July 3 - 5, 2013, London, U.K.

3. Бобер А. С., Лисенко О.І. ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПРОТОКОЛУ TDMA Наукові праці Другої міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», 19 грудня 2019 р. (Київ, Україна). НУХТ, 2019.

4. Бобер А. С., Петрова В.М. РОЗВИТОК СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ . XIII Міжнародна науково-технічна конференція “Перспективи телекомунікацій” ПТ-2019: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С . 305-307 . ISSN (print) 2663-502X

5. Бобер А. С., Лисенко О.І. ЗАДАЧА ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ В МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ ІЗ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ АЕРОПЛАТФОРМАМИ (МСМ ІЗ ТА) Матеріали тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції,. 11 – 12 квітня 2019 року. - Київ : ДУТ, НТУ; Полтава: ПНТУ; Катовице: КЕУ; Париж: Університет Париж VII Венсент-Сен-Дені; Вільнюс: ВДТУ; Харків : ХНДІТМ; Білорусь: БДАЗ, 2018. – с. 198

6. Dawood Khan, Bilel Nefzi, Luca Santinelli, Ye-Qiong Song. “Probabilistic Bandwidth Assignment in Wireless Sensor Networks”. The 7th International Conference on Wireless Algorithms, Systems, and Applications (WASA 2012), Aug 2012, Yellow Mountains, China. Springer, 7405, pp.631-647, 2012, Lecture Notes in Computer Science; WASA 2012.

7. Pengye Xia, S.-H. Gary Chan, Xing Jin. "Optimal Bandwidth Assignment for Multiple-Description-Coded Video", IEEE TRANSACTIONS ON MULTIMEDIA, VOL. 13, NO. 2, APRIL 2011.

8. Christian Nastasi, Mauro Marinoni, Luca Santinelli, Paolo Pagano, Giuseppe Lipari, and Gianluca Franchino. "BACCARAT: a Dynamic Real-Time Bandwidth Allocation Policy for IEEE 802.15.4". PerCom Workshops, page 406-412. IEEE, (2010).

9. Young-Uk Yun, Jae-Kark Choi and Sang-Jo Yoo. "Location-Based Spiral Clustering Algorithm for Avoiding Inter-Cluster Collisions in WSNs" KSII TRANSACTIONS ON INTERNET AND INFORMATION SYSTEMS VOL. 5, NO. 4, April 2011.

10. Mary Cherian and T.R. Gopalakrishnan Nair. "PRIORITY BASED BANDWIDTH ALLOCATION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.6, No.6, November 2014.

11. J.M. Kahn, R.H. Katz, K.S.J. Pister, "Next century challenges: mobile networking for Smart Dust", in: Mobicom, Seattle Washington, USA, 1999, 271–278.

12. Ning Xu, "A survey of sensor network applications", IEEE Communications Magazine 40 (8) (2002) 102–114.

13. Jianlin Mao, Zhiming Wu, Xing Wu, "A TDMA scheduling scheme for many-to-one communications in wireless sensor networks", Computer Communications 30 (2007) 863–872.

14. Jian XU, Geng YANG, Zhen YANG, Zixiong ZHANG, "Data Aggregation Scheduling Algorithm Based on Maximum Weighted Independent Set for WSNs", Journal of Information & Computational Science 9: 15 ( 2012), 4451-4459.

15. K. Dasgupta, K. Kalpakis, and P. Namjoshi, "An Efficient Clusteringbased Heuristic for Data Gathering and Aggregation in Sensor Networks", IEEE 2003.

16. Nandini. S. Patil, Prof. P. R. Patil, “Data Aggregation in Wireless Sensor Network”, IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research 2010.

17. J. Heidemann et al., “Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming,” 18th ACM Symposium on Operating Systems Principles, October 21-24, 2001.

18. C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, “Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks”, MobiCom 2000.

19. Bhaskar Krishnamachari , Deborah Estrin, Stephen Wicker, “The Impact of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks”, work supported by the DARPA SensIT program.

20. Lu, C., Blum, B., Abdelzaher, T., Stankovic, J., He, T. “Rap: A real-time communication architecture for large-scale wireless sensor networks”. In: IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS), pp. 55–66 (2002).

21. Zhang, J., Jia, X., Xing, G., “Real-time data aggregation in contentionbased wireless sensor networks”. ACM Transactions on Sensor Networks 7(1), 1–25 (2010).

22. Li, X., Wang, Y., “Complexity of data collection, aggregation, and selection for wireless sensor networks”. IEEE Transactions on Computers 60(3), 386–399 (2011).

23. Qin Liu, Yanan Chang, and Xiaohua Jia, “Real-time data aggregation with high success probability in contention-based wireless sensor networks”. In: International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN), pp. 60–67 (2011).

24. Xiaohua Xu, Jiannong Cao, and Peng-JunWan, “Fast Group Communication Scheduling in Duty-Cycled Multihop Wireless Sensor Networks”, in 7th International Conference,WASA (Wireless Algorithms, Systems, and Applications) 2012 Yellow Mountains, China, August 8-10, 2012 Proceedings.

25. Amrita Ghosal, Subir Halder, Sipra DasBit : “A dynamic TDMA based scheme for securing query processing in WSN”, Published online: 29 October 2011, Springer Science+Business Media, LLC (2011).

26. Kay Römer, Philipp Blum, Lennart Meier : “Time Synchronization and Calibration in Wireless Sensor Networks”, (ETH Zurich, Switzerland) , “unpublished”.

27. I. Stojmenovic and S. Olariu. “Data centric protocols for wireless sensor networks”. Handbook of Sensor Networks: Algorithms and Architectures (I. Stojmenovic, ed.), Wiley, pages 417-456, (2005).