

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

Інститут телекомунікаційних систем

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва кафедри)

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

_____ Валерій ЯВІСЯ
(підпис) (Ім'я, прізвище)

“ 4 ” червня 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття освітнього ступеня “бакалавр”
(назва ОС)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка,
(код і назва)

на тему: «Аналіз методів енергозбереження в безпроводових сенсорних мережах» _____

Виконала: студентка IV курсу, групи ТМ - 61
(шифр групи)

_____ Кучеренко Анастасія Андріївна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник _____ Доцент, к.т.н. Валуйський С.В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____ Старший викладач Новіков В.І. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020_ року

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

Інститут телекомунікаційних систем
(повна назва)

Кафедра телекомунікацій
(повна назва)

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри

Валерій ЯВІСЯ
(підпис) (ім'я, прізвище)

“ 22 ” січня 2020 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кучеренко Анастасії Андріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Аналіз методів енергозбереження в безпроводових сенсорних мережах»

керівник роботи Доцент, к.т.н. Валуйський С.В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. № 924 -с

2. Термін подання студентом роботи 4 червня 2020

3. Вихідні дані до роботи Сенсорні мережі, методи енергозбереження в СМ, протоколи бездротових сенсорних мереж

4.Зміст роботи Теоретичні відомості про WSN; теоретичні відомості про протоколи маршрутизації; аналіз та характеристики методів енергозбереження

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)
Протоколи бездротових сенсорних мереж, структури сенсорних мереж, класифікації методів СМ, формули у вигляді ілюстрацій

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз протоколів бездротових сенсорних мереж		9.03.2020	27.04.2020
Аналіз методів енергозбереження в сенсорних мережах		6.04.2020	27.04.2020
Аналіз сучасних розробок в області сенсорних мереж		5.05.2020	30.05.2020

7. Дата видачі завдання 22 січня 2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошук інформації для індивідуального завдання на тему: Аналіз методів енергозбереження в безпроводових сенсорних мережах	10.02.2020-24.02.2020	Виконано
2	Визначення структури дипломної роботи	2.03.2020-9.03.2020	Виконано
3	Написання першого розділу “ Аналіз протоколів бездротових сенсорних мереж ”	9.03.2020-23.03.2020	Виконано
4	Написання другого розділу “ Аналіз методів енергозбереження в сенсорних мережах ”	6.04.2020-27.04.2020	Виконано
5	Написання третього розділу “ Аналіз сучасних розробок в області сенсорних мереж ”	5.05.2020-19.05.2020	Виконано
6	Підведення підсумків	20.05.2020-25.05.2020	Виконано
7	Підготовка матеріалів, повне узгодження з керівником	25.05.2020-1.06.2020	Виконано
8	Підготовка доповіді та оформлення презентації для захисту	2.06.2020-4.06.2020	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Кучеренко А. А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Валуйський С.В.

_____ (прізвище та ініціали)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

Зміст

Вст уп.....	8
РОЗДІЛ 1. Аналіз протоколів бездротових сенсорних мереж.....	9
1.1 Датацентричний протокол SPIN.....	10
1.2 Ієрархічний протокол LEACH	12
1.3 Ієрархічний протокол PEGASIS	14
1.4 Ієрархічний протокол TEEN and APTEEN	18
1.5 Ієрархічний протокол SOP	19
1.6 Оснований на місці розташування протокол GAF	20
1.7 Оснований на місці розташування протокол GEAR	21
Висновок до розділу 1	22
Розділ 2 Аналіз методів енергозбереження в сенсорних мережах.....	23
2.1 Методи енергозбереження вузлів сенсорної мережі	23
2.1.1.Організація режимів роботи.....	26
2.1.2. Управління потужністю передачі.....	32
2.1.3. Зменшення обсягу передачі даних.	33
2.1.4. Використання мобільності вузлів.....	35
2.2 Метод енергозбереження сенсорної мережі.....	36
2.3 Енергозберігаючий метод агрегації даних сенсорної мережі	40
2.4 Метод кластеризації у безпроводових сенсорних мережах	43
Висновок до розділу 2.....	46
Розділ 3 Аналіз сучасних розробок в області сенсорних мереж.....	47

3.1 Вибір енергозберігання головного вузла кластера в бездротових сенсорних мережах для додатків Інтернет речей.....	47
3.1.1. Енергозберігаючий вибір кластерної голівки (ESCHS)	50
3.1.2. Імітаційний аналіз	53
3.2 Активна та інтелектуальна енергозберігаюча система.	57
3.2.1 Вступ.....	58
3.2.2 Системні функції	59
3.2.3 Створення zigbee і bluetooth для безпроводової сенсорної мережі.....	60
3.2.4 Обробка інтелективної інформації і прийняття рішень	62
3.2.5 Функції Взаємодії Людини-Машини	66
3.2.6. Практична енергетична система.....	67
3.2.7 Результат роботи	70
Висновок до розділу 3.....	71
Загальний висновок.....	72
Використана література	73

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ASCENT - Adaptive Self-Configuring sEnsor Networks Topologies

APTEEN - Adaptive Threshold-sensitive Energy Efficient Protocol

API - Applications Programming Interface

ESCHS - Energy Saving Cluster Head Selection

EECCR - An Energy-Efficient m-Coverage and n-Connectivity Routing

ECR - An Energy Conserving Routing

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

IoT – Internet of Things

OSI - Open Systems Interconnection

PSM - Power Saving Mode

PEGASIS - Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems

CBR - Constant Bit Rate

CDMA - Code Division Multiple Access

CFL - Clustering for Localization

CH – Cluster Head

CSMA/CA - Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

CACC - Clustering Algorithm based on Cell Combination

DEEC - Distributed Energy Efficient Clustering

GMAC - Group Mobility Adaptive Clustering

GAF - Geographic Adaptive Fidelity

GeRaF - Geographic Random Forwarding

GEAR - Geographic and Energy Aware Routing

GPS - Global Positioning System

KOCA - K-Hop Overlapping Clustering Algorithm

LEACH - Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

MAC - Media Access Control

STEM - Sparse Topology and Energy Management

SOP - Self-Organization Protocol

SPIN - Sensor Protocols for Information via Negotiation

TDMA- Time Division Multiple Access

TEEN - Threshold-sensitive Energy Efficient Protocol

VAP-E - Virtual Area Partition Energy-Efficient Clustering

WSN - Wireless Sensor Network

TOKEN - малий пакет управління

БС - базова станція

БСМ - бездротова сенсорна мережа

БСС - бездротова сенсорна система

МАД - метод агрегації даних

МД – множинний доступ

НКВ - надмірна кількість вузлів

РЕБ - радіоелектронна боротьба

СМ – сенсорна мережа

Вступ

Розглядаються бездротові сенсорні мережі (БСМ) або Wireless Sensor Network (WSN) - розподілені мережі, що складаються з малогабаритних сенсорних вузлів (інтегрують функції моніторингу довкілля, обробки, передачі і ретрансляції даних) і базових станцій, які виконують функції шлюзів з передачі зібраної інформації і функції управління БСС . Основними елементами сенсорних вузлів є: датчики контролю фізичних параметрів навколишнього середовища (оптичний, хімічний, руху і т.д.), блок мікрокомп'ютера, акумуляторні батареї, прийомопередатчики, система позиціонування (наприклад, GPS).

Особливостями БСС є: обмеженість і неоднорідність ресурсів сенсорних вузлів (енергоємність батарей, продуктивність процесорів, об'єм пам'яті і т.д.); різні типи трафіку (дані, відео); ненадійність, обмеженість радіоресурсу і колективний характер його використання; обмежена безпека та ін.

РОЗДІЛ 1

Аналіз протоколів бездротових сенсорних мереж

На сьогоднішній день все більшого поширення набувають мережі зв'язку з гетерогенною топологічною структурою, під якою розуміється наявність в системі передачі та обробки інформації дротової та бездротової складової. Широке використання бездротових складових призводить до ускладнення топологічних структур подібних мереж і, як наслідок, до збільшення факторів, що впливають на ефективність визначення і підтримки актуальності оптимальних, за заданим критерієм, маршрутів передавання даних. Останні досягнення в області бездротових сенсорних мереж (БСМ) привели до створення нових протоколів маршрутизації, спеціально призначених для сенсорних мереж (СМ). Одне із завдань при розробці таких протоколів - наявність відомостей про рівень енергії вузлів. Загалом алгоритми маршрутизації пакетів для обміну між сенсорними вузлами, які виходять за межі певного радіодіапазону, тоді як обмін повідомленнями між сенсорами в рамках конкретного діапазону може здійснюватись із використанням одного переходу. Однак один перехід в СМ не рекомендується через витрати енергії при великій дальності передачі. Все це зумовило появу багато стрибкової передачі, при якій пакети даних передаються від джерела до місця призначення через безліч проміжних вузлів або маршрутизаторів і витрати енергії на передачу даних на малі відстані значно менше. Загальна мета всіх методів маршрутизації в БСС - збільшення надійності і продовження терміну служби сенсорної мережі без впливу на час і якість доставки даних. Існує багато способів класифікації протоколів маршрутизації. Майже всі протоколи маршрутизації в БСМ - можуть бути класифіковані на основі мережевої структури і на основі роботи протоколу.

У БСМ протоколи маршрутизації класифікують за трьома напрямками - відповідно до встановлених шляхами маршрутизації, мережевою структурою і функціонуванням протоколу (рис.1) [5].

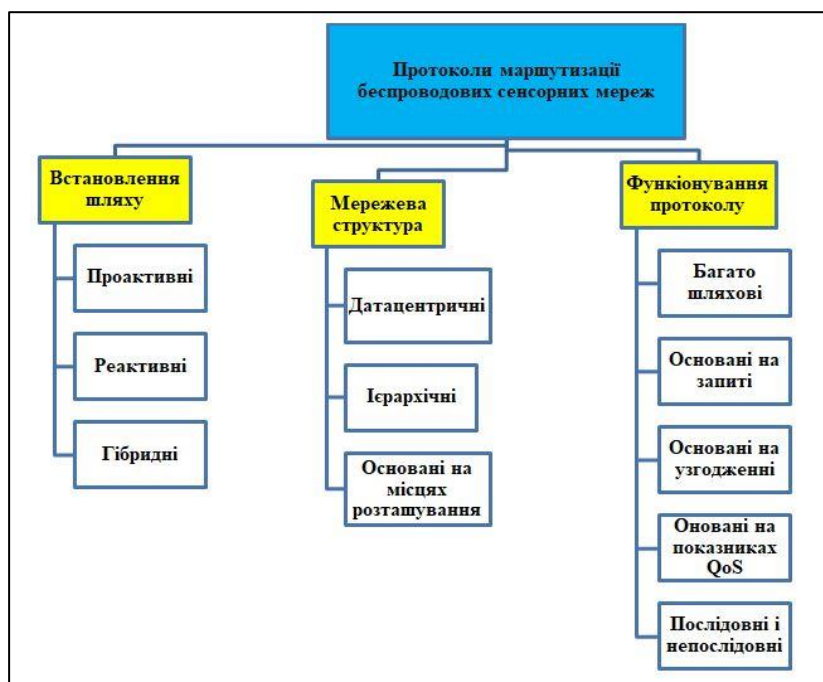


Рис.1 Класифікація протоколів маршрутизації в беспроводній сенсорній мережі.

У *датацентричній* маршрутизації всіх вузлів, як правило, призначаються рівні ролі або функціональності. Приймач посилає запити в віддалені райони і чекає дані від сенсорів, розташованих в обраній галузі. Першим датацентричним протоколом був протокол SPIN, який усуває надмірні дані і економить енергію шляхом узгодження даних між вузлами в БСС[2].

1.1 Датацентричний протокол SPIN

(Sensor Protocols for Information via Negotiation)

Протоколи типу SPIN використовують високорівневий опис даних, щоб усунути передачу надлишкової інформації. Основна ідея таких протоколів полягає у використанні попередніх «переговорів» для уникнення повторної

передачі. SPIN-протокол поширює інформацію від одного вузла до всіх інших, припускаючи, що вони є потенційною базовою станцією.[6]

Базові ідеї протоколів SPIN:

- Обмін вимірюваними даними може бути затратний, але обміну даними про вимірювані дані(метадані) може не бути.
- Вузли повинні моніторувати і адаптуватися до змін їхніх власних енергетичних ресурсів.

Потенційно кожен вузол є базовою станцією, і інформація передається від кожного до кожного. Протокол використовує метадані і систему «переговорів». Семантика метаданих не специфікується протоколом і залежить від конкретних програм. Протокол може адаптуватися залежно від кількості енергії, що залишилась на вузлах. Протокол працює на зразок time-driven, і доставляє інформацію до всіх вузлів мережі, навіть якщо вони її не запитували. SPIN має три стадії роботи і відповідно можуть передаватися три типи повідомлень: ADV, REQ, DATA.

ADV – використовується для розповсюдження інформації про нові дані. Містить метадані.

REQ – повідомлення для запиту цих даних.

І, нарешті, DATA – це самі дані.

Якщо вузол хоче послати нові дані, він спочатку надсилає ADV-повідомлення своїм сусідам, далі, якщо хтось із сусідів зацікавлений в отриманні цих даних, то він надсилає REQ-повідомлення, після чого отримує дані (DATA-повідомлення).

Існує декілька протоколів сімейства SPIN:

- SPIN-1: стандартний протокол.
- SPIN-2: протокол, що використовує інформацію про залишок енергії.

- SPIN-BC: для розповсюдження broadcast повідомлень.
- SPIN-PP: для передачі повідомлень точка-точка (point-to-point).
- SPIN-EC: подібний до попереднього, але з використанням інформації про енергію (energy heuristic).
- SPIN-RL: розроблений для нестабільних каналів (lossy channels).

Протоколи сімейства SPIN добре підходять для систем, де вузли мобільні, оскільки їм потрібна тільки локальна інформація про сусідів.

Недоліком SPIN-протоколів є те, що вони не гарантують доставку даних.

В *ієрархічній* маршрутизації кожен вузол в мережі має свої власні ролі і обов'язки. Вузли з високим рівнем енергії використовуються для обробки та відправки даних, з низьким - для детектування навколишнього середовища. Внаслідок цього створюється ієрархія низько - і високоенергетичних вузлів. Створення кластерів та привласнення спеціальних завдань головним кластерним вузлів може впливати на масштабованість, термін служби і ефективність використання енергії в мережі. Ієрархічна маршрутизація є дворівневою, де один рівень використовується для вибору головного кластерного вузла, а інший - для маршрутизації. Протокол ієрархічної кластеризації з адаптивним низьким енергоспоживанням, протокол LEACH, є одним з найбільш популярних ієрархічних алгоритмів маршрутизації для БСС.

1.2 Ієрархічний протокол LEACH

(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

Цей протокол працює так. Вузли самоорганізуються у кластери і вибирають cluster head. Усі вузли, які не є cluster head'ами, передають інформацію cluster head'у. Cluster head приймає дані, проводить їх обробку і передає на базову станцію. Періодично відбувається випадкова зміна cluster head'а і перекластеризація.

LEACH складається з двох фаз:

- організація кластерів;
- передача даних головного вузла кластеру (cluster head(CH)) на базову станцію.

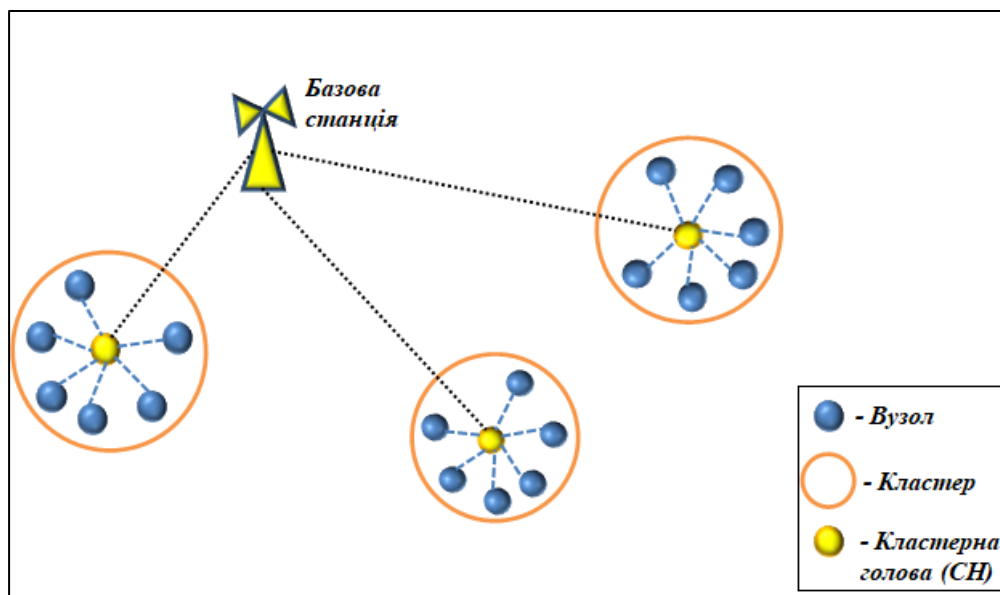


Рис.2 Бездротова сенсорна мережева ілюстрація з LEACH

Вибір СН поділяється на декілька етапів. На початковому етапі кожен вузол пропонує себе як СН з певною ймовірністю. Вузли, які не стали cluster-head'ами, можуть стати ними згодом. Рішення приймається на основі заданої щільності cluster-head'ів в мережі. Для розподілу енергетичного навантаження мережею cluster-head'и періодично переобираються. Щойно створений вузол cluster-head розсилає свій статус іншим вузлам мережі. Кожен вузол вибирає, до якого кластера він хоче приєднатися на основі енергетичної ефективності. Коли всі вузли організувалися в кластери, cluster-head створює розклад для кожного вузла. У фазі самоорганізації формуються кластери. Кожен cluster head посилає ADV-повідомлення за допомогою CSMA/CA протоколу. Це повідомлення містить ID вузла і заголовок, який показує, що це ADV-повідомлення. На основі сили сигналу від кожного cluster-head'a кожен вузол вибирає, до якого кластера приєднатися. Кожен вузол посилає (за допомогою CSMA/CA) join-request-повідомлення своєму cluster-head'у. Повідомлення містить ID cluster-head'a і самого вузла. Кожен cluster-head створює TDMA розклад. Це допомагає

уникнути колізій при передачі повідомлень та економію енергії. Після цього настає фаза передачі, яка теж має декілька етапів. Вузли передають дані в свій відведений час. Після отримання повідомлень від усіх вузлів cluster-head формує свої повідомлення. Потім cluster-head передає ці повідомлення на базову станцію. Для зменшення колізій cluster-head'и використовують CDMA коди. Перед початком передачі вузол-cluster-head прослуховує канал. Якщо канал вільний, він передає інформацію на базову станцію.

Переваги протоколу LEACH:

- Використання адаптивного самоорганізовувального протоколу дає змогу розподілити енергетичне навантаження по всій мережі.
- Можна проводити обробку даних на cluster-head'і, що може зменшити кількість даних, що передаються мережею.
- Оптимальну кількість кластерів можна визначити заздалегідь залежно від топології мережі та відношення затрат на обробку/передачу інформації.
- Перша «смерть» вузла відбувається у вісім разів пізніше, ніж при використанні прямої передачі і статичних кластерних протоколів.

1.3 Ієрархічний протокол PEGASIS

(Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)

PEGASIS – це покращений варіант LEACH. За цим алгоритмом формуються не кластери, а ланцюжки, якими передаються дані, і один вузол їх посиляє. Перевершує LEACH за енергетичними показниками. У бездротових сенсорних мережах енергоефективність виконує вирішальну роль, оскільки датчики, як правило, харчуються від батареї. Протоколи ієрархічної маршрутизації можуть використовуватися для подолання цього обмеження.

PEGASIS - енергоефективний збір даних в сенсорних інформаційних системах - це один з таких протоколів ієрархічної маршрутизації, який слідує ланцюговому підходу і жадібному алгоритму. Основна мета PEGASIS полягає в

тому, щоб отримувати і передавати дані сусідові і назад і по черзі бути голівкою кластера для передачі на вузол приймача.

Цей алгоритм працює у три етапи: Встановлення ланцюга, обрання лідерного вузла і передача інформації[9].

Встановлення ланцюга

Техніка побудови ланцюга є тісною і починається з підключення, яке є кінцевим від базової станції. Потім з'єднана ланка вибирає наступне посилення, яке буде додано у зв'язок, вибираючи наступного спостережника на основі "інтенсивності хвилі" сусідніх вузлів. Посилення, які вже підключені до облігації, не можна повторно відвідувати, тобто не можна розгалужувати облігацію. Цей спосіб триває, поки не буде додано останнє посилення у облігації. Цей етап створює єдиний зв'язок, що складається з усіх ланок мережі.

Вибір ланки лідера

Спочатку нерегулярне посилення - це вибір лідера. Ведуча ланка буде знаходитись у неправильному місці зв'язку, що важливо для загибелі зв'язку в нерегулярному місці, що допомагає зробити мережу детектора міцною. Під час організації зв'язків деякі детектори можуть мати порівняно віддалені сусіди по ланцюгу, що змушує ці ланки дифундувати порівняно більше сили в кожному раунді порівняно з іншими ланцюгами. Таким чином, при виборі лідерних посилень враховується обмеження відстані для спостерігачів. Якщо посилення відмирає, зв'язок відновлюється, а початок можна змінити, щоб визначити зв'язок напрямного. У кожному циркулярі вибирається свіжий лідер з рівним вагою споживання сили в інтерфейсі.

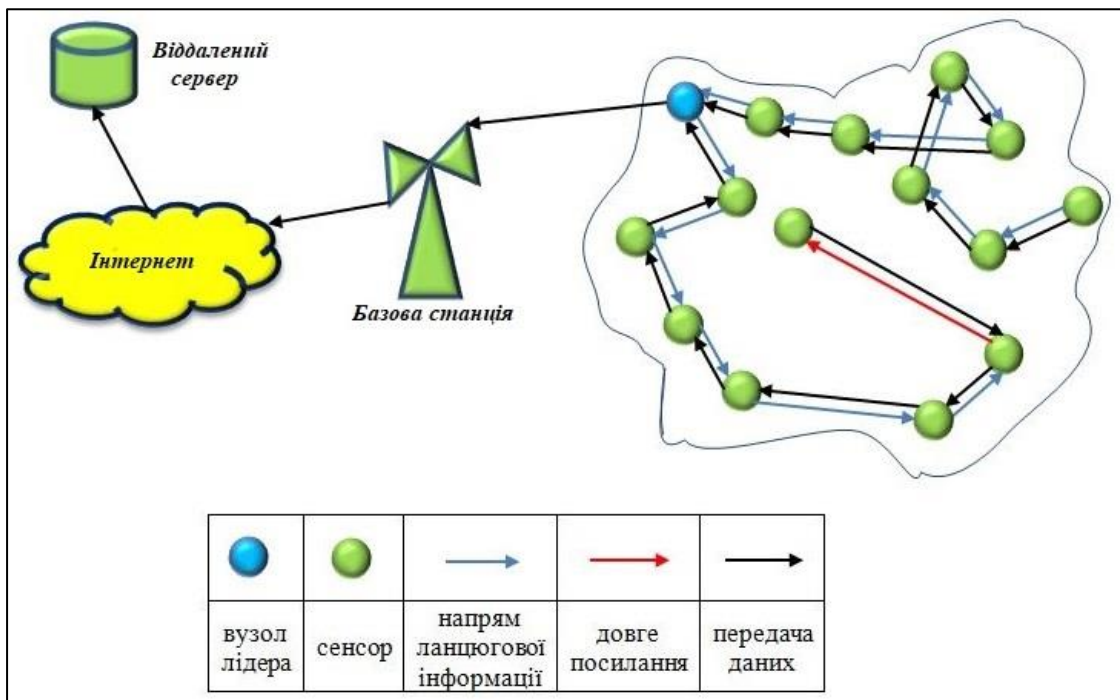


Рис.3 Бездротова сенсорна мережева ілюстрація з PEGASIS без з'єднання зв'язків (не більше двох ступеней зв'язку)

Пересилання даних

Збір даних та злиття даних починають пізніше, щоб вибрати лідер-посилання. Аналогічний маршрут реалізований для збору інформації. Ведуча ланка проходить через аналогічний кінцевий вузол уздовж ланцюга. Далі аналогічне посилання було зібрано, і воно передає аналогічну інформацію по ланцюгу до наступної ланки. Цей метод триває, поки інформація не з'явиться отриманий правителем. Зливаючи інформацію від спостерігача з власними даними про запобіжники на кожному середньому ланці і створюється один пакет однакової довжини. Подальший пакет інформації передається на базову станцію останньою лідерною ланкою. Передача даних відбувається у випадку зв'язків з лідерним зв'язком на початку зв'язку, як показано на рис.3.

-1- знаходиться на початку зв'язку в цьому лідері зв'язку. -1- проходить TOKEN (малий пакет управління) через зв'язок до кінцевої ланки -7-. Посилання -7- передає дані після отримання TOKEN і TOKEN до його пізнішого вузла у зв'язку, тобто -6-. Посилання -6- щодо збору інформаційного

пакету та TOKEN від посилання -7- з'єднає інформацію з отриманою посилкою та передає її до наступної точки, тобто -5-.

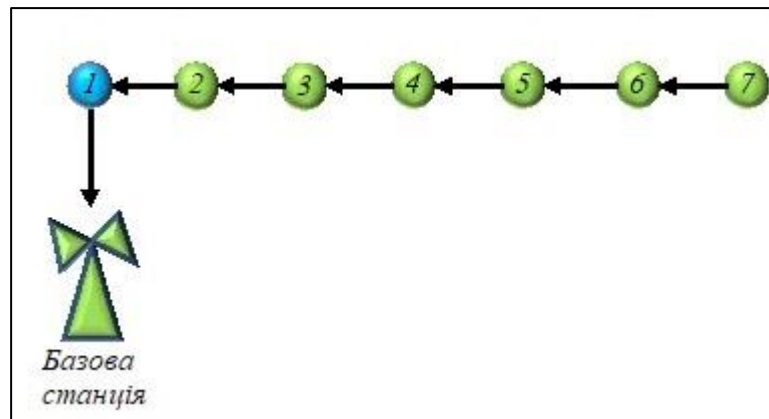


Рис.4 Ілюстрація переадресації даних (проходження TOKEN) у ланці на початку зв'язку з лідером.

-5- передає пакет -4-, -4- → -3-, -3- → -2-, а -2- → -1- аналогічно. Нарешті, лідер -1- на отриманому пакеті від -2- з'єднає отриманий пакет із власною чуттєвою інформацією, а потім надсилає його на базову станцію. Тут є лідером -4-. Творець не згадує жодних правильних вимог. Це тому, що ведучий передасть інформаційні пакети до базової станції лише тоді, коли він отримує потоки як сусідів -3-, так і -5-. Отже, -4- передає TOKEN або одну, або дві кінцеві ланки, тобто -1- і -7-.

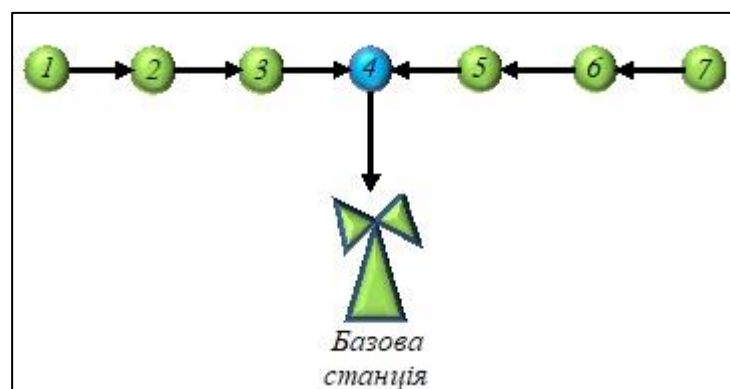


Рис.5 Кожен проміжний вузол є ілюстрацією передачі інформації (проходження TOKEN) у ведучій облигації.

Нехай спочатку -4- передає TOKEN до -1-. -1- передає інформацію про відчуття після отримання TOKEN і TOKEN до ланки -2- після зв'язку. -2-

з'єднує власну інформацію з отриманою множиною інформації, а потім передає -3- разом з TOKEN, а потім -3- до -4-. Аналогічно, -4- переміщує TOKEN до зв'язків іншої кінцевої ланки, тобто -7-. Тепер -7- передає інформацію в TOKEN і -6-, а він зливається з власною сенсорною інформацією і передає в -5-, разом з TOKEN, до -5- і -4-. -4- — запобіжники отримали інформацію з власною чуттєвою інформацією після отримання інформації від -3- та -5-, а потім передали її на базову станцію. Таким чином ми бачимо, що посилення передає один інформаційний пакет у кожному раунді незалежно від провідного каналу положення, довжина ланцюга або будь-який інший фактор.

Недоліком є великі затримки для вузлів на кінцях ланцюжка.

1.4 Ієрархічний протокол TEEN and APTEEN

((Adaptive) Threshold-sensitive Energy Efficient Protocol)

Цей протокол добре підходить для ужитків, критичних до часу. Він дає менші енергетичні витрати, ніж проактивні протоколи[11]. «М'яка» межа може адаптуватися. «Жорстка» межа може варіюватися залежно від додатків.

TEEN не підходить для періодичного моніторингу, тому розроблено APTEEN – розширення TEEN як для підтримки та періодичного моніторингу, так і для реакції на критичні події. На відміну від TEEN вузол повинен зібрати і передати дані, якщо вони не були відіслані за певний період часу (count time), який встановлюється СН. Порівняно з алгоритмом LEACH, TEEN & APTEEN споживають меншу кількість енергії.

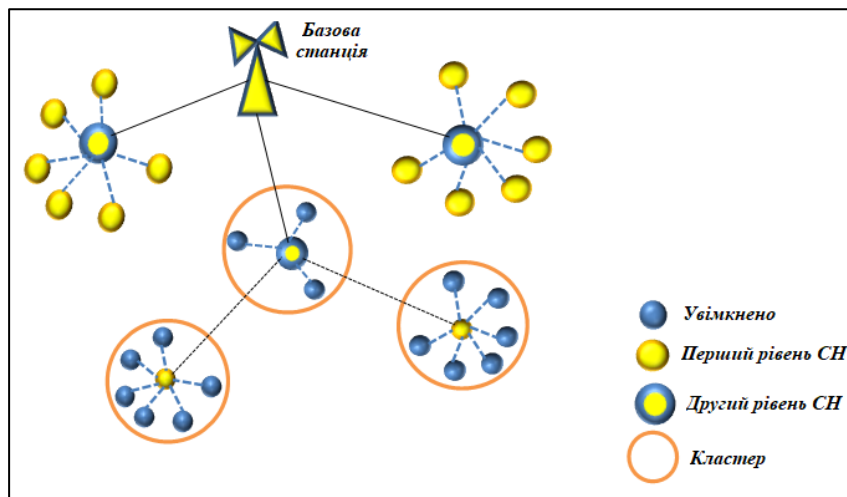


Рис.6 Бездротова сенсорна мережева ілюстрація з TEEN

Недоліками є: накладні витрати і складність формування багаторівневих кластерів та організації порогових функцій.

1.5 Ієрархічний протокол SOP

(Self-Organization Protocol)

Така архітектура підтримує різноманітні вузли. Як основу мережі використовують стаціонарні вузли роутери. Мобільні або стаціонарні сенсорні вузли надсилають інформацію на роутери. Сенсорний вузол може бути частиною мережі тільки у випадку, якщо він може передати інформацію на роутер напряму. Ця архітектура вимагає можливості адресації кожного вузла.

Переваги:

- Підходить для ужитків, де потрібний зв'язок з визначеним вузлом.
- Невеликі витрати на підтримку таблиці маршрутизації.
- Збереження збалансованої маршрутної ієрархії.
- Збереження енергії: використання обмеженої підмножини вузлів.

Недоліки:

- Цей протокол не є протоколом «на вимогу», особливо що стосується організаційної фази.

- Існування великої кількості розривів підвищує ймовірність реорганізації мережі (витратна операція).

У протоколах, *основаних на місці розташування*, розташування сенсорних вузлів використовуються для маршрутизації даних в мережі. Більшість протоколів маршрутизації в БСС вимагають інформацію про місцезнаходження сенсорних вузлів, на основі якої може бути розраховане відстань між двома конкретними вузлами, для того щоб оцінити витрати енергії. Місцезнаходження можна визначити і за допомогою технології GPS-відстеження, оскільки обмін Вашим розташуванням вузлів, просторово розгорнутих в деякій області, може бути використана при маршрутизації даних енергетично ефективним способом.

1.6 Оснований на місці розташування протокол GAF

(Geographic Adaptive Fidelity)

Цей location-based протокол враховує енергетичні ресурси вузла. Кожен вузол знає свої координати через GPS і асоціює себе з точкою на віртуальній решітці. Вузли, які вважають, що знаходяться в одній точці, рівнозначні в термінах «вартості» маршрутизації пакета. Протокол розроблено переважно для MANET, але може бути використаний і для сенсорних мереж. Алгоритм протоколу складається з трьох станів:

- Виявлення (Discovery) визначає сусідів у решітці.
- Активний.
- Сплячий.

При врахуванні мобільності, кожен вузол оцінює час свого «залишення» решітки і насилає цей час сусідам. Сусідні вузли регулюють час для сну, щоб забезпечити маршрутизацію.

Недоліки:

- Протокол погано масштабується.
- Тільки активні вузли надсилають інформацію, тому точність інформації не дуже висока.

1.7 Оснований на місці розташування протокол GEAR

(Geographic and Energy Aware Routing)

Даний алгоритм обмежує кількість запитів, які пересилаються, в directed diffusion. Він розглядає тільки певний район мережі, замість всієї мережі загалом. Кожен вузол зберігає передбачувану і навчальну вартості на досягнення WSN через своїх сусідів.

Estimated cost = f (енергія, що залишилась, відстань до точки призначення).

Навчальна вартість поширюється на одну ланку назад кожен раз, коли пакет досягне приймача. Маршрут налаштування для наступного пакета може бути скоригований.

Протокол працює двофазно.

Фаза 1: Пересилання пакетів у визначений район. Пересилається пакет сусідньому вузлу з мінімальною функцією f (найближчий до WSN і має найбільшу енергію). Якщо всі вузли знаходяться далі, ніж сам вузол-відправник, то вибирається один із сусідів на основі learned cost.

Фаза 2: Пересилання пакета в межах потрібної області.

Застосовується будь-яке рекурсивне відправлення повідомлень. Район ділиться на 4 підобласті і надсилається 4 копії пакета. Повторюється доти, доки не залишаться райони з одним вузлом.

Висновок до розділу 1

Маршрутизація в безпроводних сенсорних мережах – це новий напрямок, який активно розвивається. На жаль, технології енергоживлення та зберігання даних розвиваються не так швидко. Крім вдосконалення джерел енергоживлення та скорочення енергоспоживання апаратури дослідження в цій галузі передбачає збирання енергії з навколишнього середовища, розроблення ефективніших алгоритмів керування енергоспоживанням і методів оптимізації використання батарей. Особливо важливі дослідження методів визначення ступеня зарядженості батарей або їх залишку енергії. У СМ, крім того, для продовження часу життя мережі можна застосовувати протоколи, що дають змогу використовувати енергію, що залишилася у вузлах, для обчислення оптимальних комунікаційних маршрутів.

Розділ 2

Аналіз методів енергозбереження в сенсорних мережах

Сенсорні мережі повинні відповідати наступним вимогам: децентралізоване функціонування, енергозберігання, великий час функціонування мережі, достатня пропускна здатність, малий час затримки передачі, мобільність, масштабування, адаптування до зміни щільності та кількості вузлів, протидія засобам радіоелектронної боротьби (РЕБ), передача неоднорідного и пріоритетного трафіка тощо[3].

Вузли СМ мають автономне джерело електроенергії обмеженої ємності, тому характерними вимогами до них є мінімізація витрат енергетичних ресурсів вузлів та максимізація часу функціонування мережі. Ці задачі вирішують методи управління енергоспоживанням в мобільних радіомережах (МР) , які можуть бути реалізовані в підсистемі управління енерговитратами системи управління вузлів МР. Для сенсорних мереж задача мінімізації енерговитрат є першочерговою, що вимагає розробки окремих методів енергозбереження.

2.1 Методи енергозбереження вузлів сенсорної мережі

Складність знаходження балансу між ефективністю енергозберігання та продуктивністю передачі інформаційних потоків вимагає розробки ряду методів енергозбереження вузлів СМ. Для визначення напрямків подальших досліджень проведемо загальну класифікацію існуючих методів енергозбереження вузлів СМ. Для цього будемо використовувати структуру передачі даних від вузлів СМ до адресата, представлену на рис.5.

Збір інформації сенсорною мережею здійснюється через один або декілька окремих шлюзів, які в свою чергу передають інформацію адресату з використанням зовнішньої мережі зв'язку.

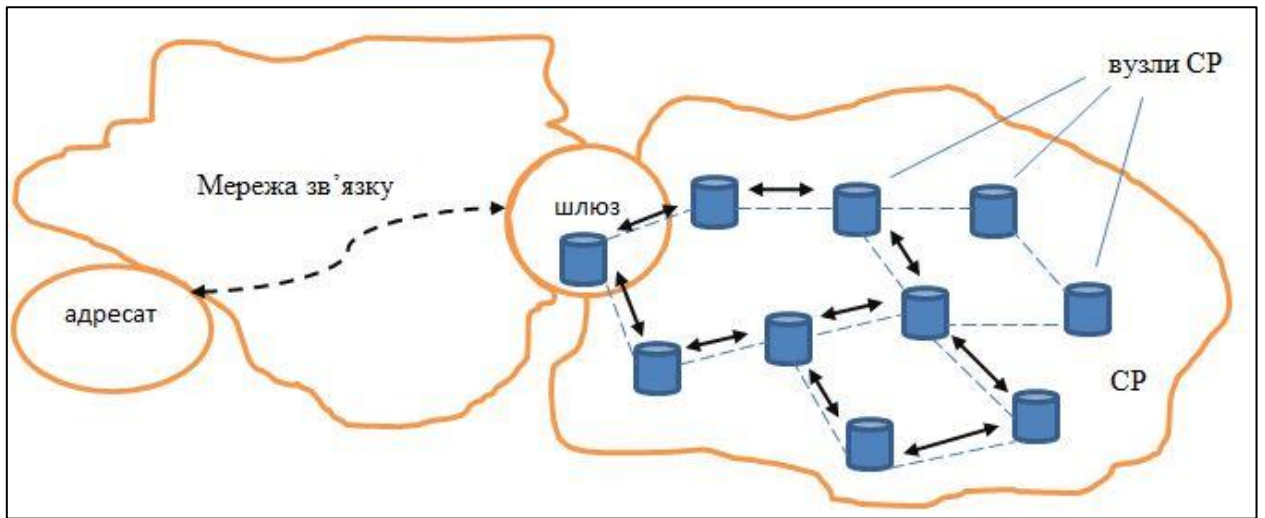


Рис.7 Структура передачі даних від вузлів СМ до адресата

Склад підсистем окремого вузла СМ містить (рис. 6): підсистему датчиків, підсистему обробки інформації, телекомунікаційну підсистему та підсистему електроживлення. В окремих випадках вузол СМ може включати зовнішнє електроживлення (сонячну батарею тощо), підсистему руху (змінення положення вузла або орієнтації антени), підсистему визначення положення в просторі (відносно інших вузлів або глобального) тощо.

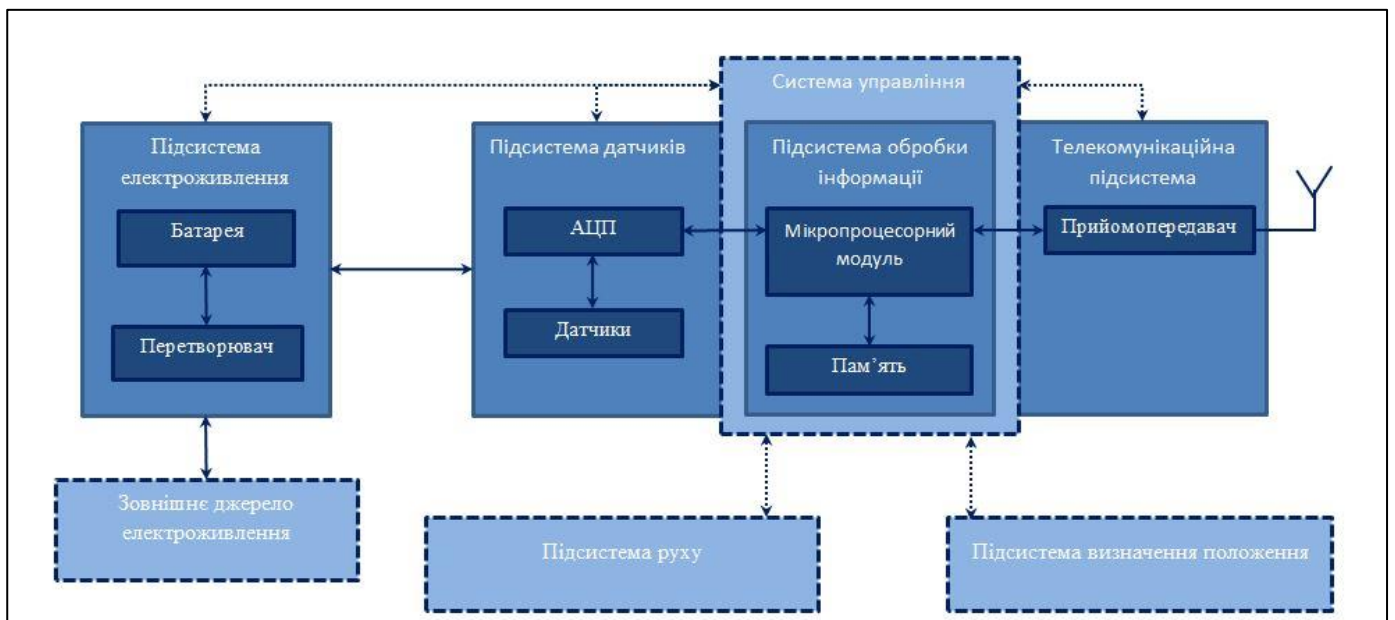


Рис.8 Структура вузла СМ

Явно видно, що використання енергетичних ресурсів вузлів залежить від взаємодії його окремих підсистем, розміщення вузла в мережі та його функцій (кінцевий збирач інформації, ретранслятор, шлюз). Загальні співвідношення енергоспоживання вузлів наступні:

- у телекомунікаційної підсистеми набагато більше споживання енергії ніж у підсистеми обробки інформації (передача 1 біта використовує кількість енергії, достатньої на проведення тисячі і більше операцій мікропроцесора);
- в режимі прийому та очікуванні прийому телекомунікаційна підсистема вузла використовує приблизно однакову кількість енергії, тому енергозбереження буде ефективно тільки при періодичному повному відключенні прийомопередавача;
- використання енергії вузлів суттєво залежить від режимів роботи підсистеми датчиків.

Зростанню енергоспоживання в СМ також сприяють наступні фактори:

- колізії, які передбачають додаткові передачі пакетів;
- „підслуховування”, коли вузли приймають пакети, які їм не адресовані;
- витрати протоколів більш високого рівня на передачу службової інформації, які в БСМ можуть досягати 70 % глобального трафіка ;
- передача пакетів в час, коли вузол-адресат не готовий до прийому: при цьому здійснюються повторні передачі;
- розмір пакетів: з одного боку, при передачі пакетів малого розміру витрачається більше енергії на передачу службової інформації (заголовків пакетів тощо), з іншого – передача великих пакетів потребує більше енергії;
- флуктуації трафіка: різке збільшення глобального трафіку в мережі може призвести до значного збільшення кількості колізій.

Для зменшення енерговитрат вузлів необхідно використовувати комплекс методів енергозбереження. Провівши аналіз енергоспоживання в СМ, всі методи енергозбереження можна поділи на такі напрямки:

- організацію режимів роботи вузлів (сон, прослуховування, передача) з періодичним відключенням прийомопередавачів;
- управління потужністю передач;
- зменшення обсягу передачі даних;
- використання мобільності вузлів.

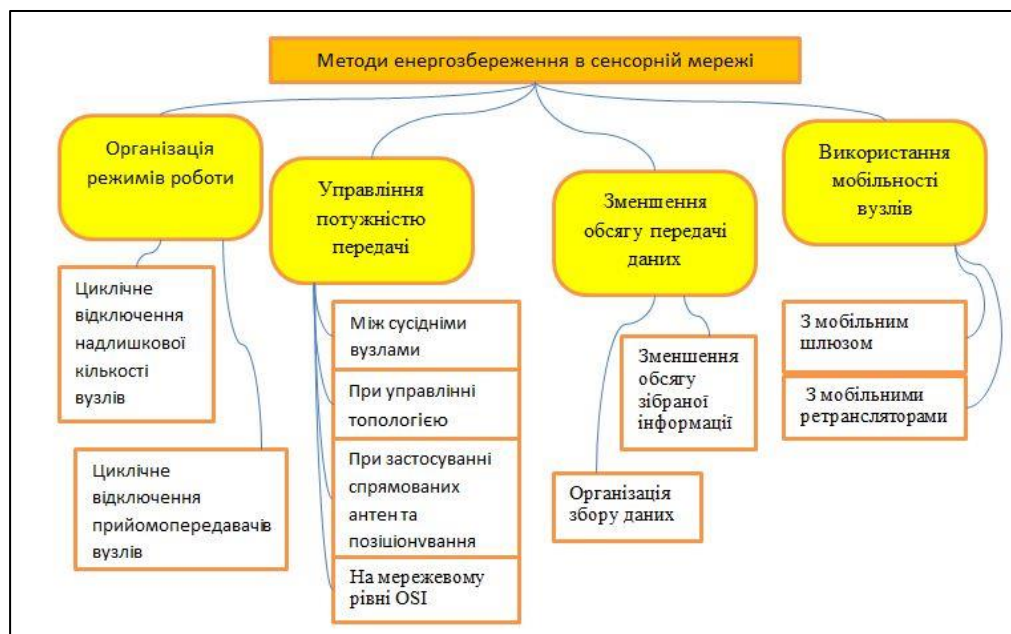


Рис.9 Загальна класифікація енергозберігаючих методів в СМ

2.1.1.Організація режимів роботи.

Енергозберігаючі методи організації режимів роботи спрямовані на забезпечення зменшення споживання енергетичних ресурсів вузлів СМ за рахунок періодичного відключення вузлів мережі або їх прийомопередавачів.

В методах циклічного відключення надлишкової кількості вузлів використовується повне відключення окремих надлишкових вузлів СМ на визначений довгий період часу. Дані вузли зберігають ресурс батарей і в

подальшому можуть замінити вузли, які більше інших витрачають енергетичний ресурс. Основна задача методів даного класу полягає в виборі тих вузлів СМ, які на черговому циклі роботи можуть бути відключені. Для цього можуть бути використані дані про розташування (координат) вузлів або їх зв'язність. [4]

Наприклад, метод GAF (Geographical Adaptive Fidelity) розбиває мережу на окремі частинки за ознакою місця розташування таким чином, що вузли сусідніх частинок завжди можуть зв'язатися між собою. Вузли в окремій частинці вважаються рівнозначними, з них вибирається один (з більшим енергетичним ресурсом), який функціонує на черговому циклі роботи мережі.

Метод GeRaF (Geographic Random Forwarding) використовує адаптивну випадкову схему включення/відключення вузлів СМ. При необхідності передачі вузол взаємодіє з множиною вузлів, що включені, з яких для подальшої передачі вибирається вузол, координати якого ближче до адресата.

Метод Span адаптивно вибирає «координаторів вузлів мережі» з використанням інформації про зв'язність вузлів. «Координатори» функціонують на черговому циклі роботи мережі і здійснюють маршрутизацію інформаційних потоків. Інші вузли основний час відключені і періодично включаються для перевірки необхідності стати «координатором».

Для підтримання потрібної кількості «координаторів» використовуються наступні основні правила:

- 1) якщо вузол не може зв'язатися з сусідом безпосередньо, або через один чи декілька «координаторів», то він вирішує стати «координатором»;
- 2) перед тим, як стати «координатором», вузол вичікує випадковий проміжок часу, зворотно пропорційний його енергетичному ресурсу;
- 3) вузол перестає бути «координатором», якщо всі вузли, з якими він зв'язаний доступні між собою безпосередньо, або через інші «координатори».

Метод Span отримує дані про зв'язність вузлів з протоколів мережевого рівня і тому його використання залежить від діючих методів маршрутизації.

Метод ASCENT (Adaptive Self-Configuring sEnsor Networks Topologies) на відміну від методу Span не залежить від методів маршрутизації. Основна його суть в тому, що неактивні вузли знаходяться в режимі прослуховування. Якщо кількість активних вузлів в мережі недостатня, вузли, які виявили втрату пакетів, починають передавати інформацію про це в мережу. Неактивні вузли приймають цю інформацію і за відповідним алгоритмом переходять в активний стан.

Метод Naps пропонує децентралізований алгоритм відключення/включення вузлів.

В цьому методі цикли роботи кожного вузла розділяються на випадкові інтервали часу $0..T$.

Після свого включення, вузли передають широкомовний запит. Якщо вузол отримує відповіді від своїх сусідів, він відключається до наступного циклу. Якщо відповідь не отримана (сусіди відключені або вийшли з ладу), вузол переходить в активний стан. Математично та за допомогою моделювання доказано, що вибравши відповідні параметри режимів роботи окремих вузлів, можна знайти прийнятний баланс між показниками енергоефективності та продуктивністю заданої СМ. Крім цього методи цього класу гнучкі та легко масштабуються.

Методи циклічного відключення надлишкової кількості вузлів можуть збільшити час функціонування мережі, їх доцільно використовувати разом з іншими методами енергозбереження в якості допоміжних. При цьому необхідно враховувати їх можливий вплив на ефективність застосування інших методів збереження енергоресурсів вузлів.

Методи відключення прийомопередавачів вузлів можуть реалізовувати функції енергозбереження як на прикладному рівні відповідно моделі взаємодії

відкритих систем OSI(методи сна/пробудження), так і на каналному рівні (енергозберігаючі методи множинного доступу).

Методи сна/пробудження можуть включати прийомопередавачі за вимогою, за розкладом або асинхронно. Методи сна/пробудження за вимогою ефективні в СМ, в яких основний час не здійснюється передача інформації (наприклад, мережі спостереження і виявлення окремих подій). В такій мережі вузли більшу частину часу знаходяться в контролюючому стані з відключеними прийомопередавачами з гарантованою обмеженою затримкою можливого переходу в стан передачі.

Так метод STEM (Sparse Topology and Energy Management) для виявлення ініціації передачі використовує додатковий радіоканал активації меншої потужності. При цьому окремий вузол включає прийомопередавач кожний період включення $T_{\text{вкл}}$ на час активації $T_{\text{акт}}$.

Якщо вузлу необхідно передати пакет він передає серію спеціальних маяків по каналу активації. При прийомі маяка вузол-адресат передає підтвердження прийому і активує канал прийому даних. Любий з двох вузлів, виявивши колізію, активує канал передачі даних.

Якщо час на передачу маяка дорівнює T_m , а час передачі підтвердження прийому $T_{\text{підтв}}$, то для коректного прийому запиту на передачу вузли періодично повинні бути активовані на час

$$T_{\text{акт}} > 2T_m + T_{\text{підтв}}$$

$T_{\text{вкл}}$ в низькошвидкісних мережах повинно бути достатньо великим для забезпечення енергозбереження і сумування всіх періодів часу на мультитранзитному шляху проходження пакету даних може дати велику затримку. Існують різновиди методу STEM з використанням конвеєрного пробудження, які зменшують вплив цих недоліків.

Методи сна/пробудження за розкладом пропонують періодичне одночасне включення прийомопередавачів всіх вузлів. Головна перевага цих методів в тому, що якщо вузол передає дані, то гарантовано всі вузли на даний момент знаходяться в режимі прийому. Це дає можливість ширококомовної передачі всім сусідам. Основним недоліком даних методів є необхідність використання складних механізмів синхронізації. Для цього розробляються окремі методи синхронізації вузлів CM. Крім цього, одночасний вихід зі сну може привести до одночасної ініціації передачі декількома вузлами, що призведе до колізій. Тому існують різновиди даних методів зі складними схемами включення. Методи сна/пробудження за розкладом практично реалізовані в платформах TinyDB та TASK .

Асинхронні методи сна/пробудження не потребують синхронізації і гарантують перекриття активних періодів вузлів в межах визначеної кількості циклів.

Прикладом є метод, реалізований в протоколі 802.11 PSM (Power Saving Mode) . Існують методики складання асинхронних схем включення вузлів заданих CM з необхідними характеристиками. Методи даного класу гнучкі та адаптовані до зміни топології мережі, однак неефективні для мереж низької щільності.

Енергозберігаючі методи множинного доступу реалізують функції енергозбереження на каналному рівні моделі OSI, де самим ефективним є мінімізація кількості повторних передач пакетів та часу знаходження вузлів в режимі прослуховування каналу. Складність знаходження балансу між ефективністю енергозберігання та продуктивності передачі інформаційних потоків призвело до розробки ряду енергозберігаючих методів МД .

Енергозберігаючі методи множинного доступу можна поділити на методи з плануванням, методи без планування, гібридні та багаторівневі.

Методи МД без планування (випадкові) прості в реалізації, масштабовані та адаптовані до зміни топології мережі, але піддані всім вказаним вище факторам, що заважають ефективному енергозберіганню. Ці методи базуються на CSMA або CSMA/CA і використовуються в мережах невеликої розмірності без жорстких вимог з енергоефективності та продуктивності. Так, наприклад, в операційній системі сенсорних вузлів TinyOS використовується метод В-МАС (Berkeley MAC) . Цей метод поєднує властивості методів доступу до каналу CSMA/CA та асинхронних методів сна/пробудження. Метод S-МАС (Sensor-MAC) використовує схему сна/пробудження за розкладом. Метод D-МАС адаптований для мереж зі деревовидною структурою.

Методи з плануванням основані на методах часового розподілу доступу до каналу. Ці методи мінімізують вплив основних факторів, що заважають ефективному енергозберіганню, але більш складні в реалізації, потребують застосування складних механізмів синхронізації вузлів, масштабування та адаптації до зміни топології мережі. Дані методи використовуються в мережах великої розмірності та інтенсивного трафіку.

Так, наприклад, метод TRAMA поділяє час доступу до каналу на час випадкового доступу та час запланованого доступу. Часові проміжки випадкового доступу використовуються для резервування часових слотів, а час запланованого доступу – безпосередньо для передачі даних. Метод L-МАС не витрачає час на резервування, а використовує схему випадкового вибору вільного слота .

Стандарт IEEE 802.15.4 дозволяє використовувати два типи доступу: з маяками (з плануванням) та випадковий. В даному стандарті розподіл слотів здійснює провідний вузол кластера тільки в межах одного кластера на одній ділянці передачі.

Гібридні методи об'єднують переваги та зменшують вплив недоліків вищевказаних методів, більш складні в реалізації та ефективні для окремих

типів топологій мереж. Основна суть даних методів – застосування переключення різних механізмів доступу в залежності від рівня конкуренції в мережі. Так метод Z-MAC, на попередньому етапі, за допомогою розподіленого алгоритму розподіляє часові слоти між вузлами сенсорної радіомережі таким чином, щоб в межах двох ретрансляційних ділянок вони не повторювались. Після розподілу кожний вузол має карту розподілу слотів за їх „власниками”. На етапі функціонування вузли „не власники” можуть передавати по чужим каналам, якщо виявляють їх низьку завантаженість. При виділенні слота для передачі перевагою користується його „власник”. Такий підхід дозволяє підвищити рівень використання каналів при низькій конкуренції доступу.

В багаторівневих методах МД здійснюється взаємодія на різних рівнях моделі OSI, що дозволяє підтримувати баланс між енергозберіганням та продуктивністю мережі для підтримки QoS в залежності від характеристик інформаційних потоків. Приклади: MACCROSS, Q-MAC, EQ-MAC, CoCo .

2.1.2. Управління потужністю передачі.

Енергозберігаючі методи управління потужністю передачі спрямовані на забезпечення зменшення споживання енергетичних ресурсів за рахунок зменшення потужності випромінювання антенами окремих вузлів СМ. Методи даного класу поділяються :

- *методи зменшення потужності передач між сусідніми вузлами зі збереженням необхідних параметрів радіоканалу: визначеного рівня відношення сигнал/завада, нормованого на біт $SINR = E_b/N_0$ (где E_b – енергія сигналу, N_0 – спектральна потужність шуму), ймовірність бітової помилки (BER) тощо.*

- *методи управління топологією* припускають перерозподіл потужностей передач вузлів P_i і/або спрямованості їхніх антен γ_i . Збільшення потужностей передач вузлів приводить до збільшення ймовірності успішної передачі пакетів

(за рахунок збільшення SINR), скороченню часу їхньої доставки та обсягу службової маршрутної інформації (внаслідок зменшення діаметра мережі), однак вимагає більшої витрати енергії батарей і визначає високий рівень взаємних перешкод (що приводить до різкого зниження пропускної здатності мережі). Зменшення потужності передачі дозволяє збільшити пропускну здатність мережі (за рахунок просторового рознесення каналів і зниження рівня взаємних перешкод), але приводить до збільшення часу доставки повідомлення й обсягу службового трафіка.

- *методи застосування спрямованих антен і системи позиціювання* дозволяють знизити рівень взаємних перешкод і збільшити енергетику радіоканалів. Дані методи на даний час складні в реалізації, але дозволяють зменшити витрачання потужності до 90% .

- *методи управління потужністю передачі на мережевому рівні OSI* застосовують вибір маршрутів за метриками, що враховують споживання енергоресурсу при передачі/прийомі повідомлень та/або ємність батарей і реалізуються в підсистемі маршрутизації системи управління вузлів СМ.

2.1.3. Зменшення обсягу передачі даних.

Методи зменшення обсягу передачі даних поділяються на два класи. Методи першого класу дозволяють зменшити обсяг вже зібраної вузлами СМ інформації для її подальшої передачі адресату. Методи другого класу дозволяють організувати енергоефективний збір даних.

Методи зменшення обсягу зібраної інформації зменшують надлишковість вибірок зібраних даних. Так мережеві методи спрямовані на виключення надлишкових вибірок в проміжних вузлах на шляху передачі адресату (наприклад, кластерних вузлах). Застосування цих методів залежить від принципів збору даних в мережі та здійснюється відповідно на прикладному рівні моделі OSI.

Методи стиснення даних зменшують обсяг зібраних вузлом даних з використанням загальних методів кодування зі стисненням.

Суть методів прогнозування даних полягає в створенні абстракції явища, дані про яке збирають датчики вузла СМ – моделі, яка характеризує зміну даних в часі. Якщо зібрані дані зі заданою точністю відповідають визначеній моделі, безпосередньо виміряні значення не передаються. Якщо дані не відповідають моделі, застосовується інша модель. Так стохастичні методи використовують ймовірнісні математичні моделі. Методи часових серій використовують моделі зміни даних в часі.

Алгоритмічні моделі застосовують складні евристичні моделі зміни даних, що збираються, на окремих ділянках або у всій СМ. Так метод PREMON розроблений на основі загальних методів кодування відеосигналів. Загальна “картина” даних розділяється на окремі ділянки і в подальшому передається характер їх змін.

Методи організації енергоефективного збору даних дозволяють не тільки зменшити надлишковість даних, що збираються, але й зменшити енергоспоживання підсистеми датчиків вузлів СМ, яке може бути суттєвим (при використанні активних датчиків тощо).

Так методи адаптивної вибірки скорочують кількість вибірок даних з використанням просторово-часових кореляцій. Методи ієрархічної вибірки припускають використання датчиків різного типу (різної точності, енергоспоживання) для виявлення подій і вимірювання їх ознак. Методи активної вибірки аналогічні методам прогнозування даних при зменшенні обсягу зібраної інформації, але в них моделі використовуються для зменшення безпосередньо вибірок даних.

Методи організації енергоефективного збору даних цілком залежать від алгоритмів збору даних в СМ і реалізуються на прикладному рівні моделі OSI.

2.1.4. Використання мобільності вузлів.

Методи енергозбереження з використанням мобільності вузлів СМ дозволяють зменшення кількості ретрансляцій повідомлень при переміщенні вузлів на місцевості. Ці методи можна поділити на два класи: методи мобільного шлюза та методи мобільних ретрансляторів.

Методи мобільного шлюзу використовують той факт, що збір даних в СМ здійснюється в окремому напрямку – через шлюз до адресата. При відомому характері зміни положення шлюзу можна спланувати передачі даних в мережі з мінімальною кількістю ретрансляцій. Методи мобільних ретрансляторів використовують мобільність окремих вузлів СМ. В якості мобільних ретрансляторів можуть використовуватись безпілотні літальні апарати, транспортні засоби, що рухаються за маршрутами тощо. Так схема перенаправлення повідомлень використовує „пароми” повідомлень – мобільні ретранслятори, за допомогою яких здійснюється безпосередня передача даних між вузлами СМ, за рахунок чого зменшується кількість ретрансляцій.

Методи енергозбереження з використанням мобільності вузлів залежать від характеру збору даних в мережі, від наявності та руху мобільних вузлів, тому можуть застосовуватись в якості додаткових до інших методів енергозбереження.

Розглянуті вище за напрямками методи енергозбереження дозволяють зменшити використання енергетичного ресурсу вузлів СМ. Умови функціонування СМ спеціального призначення накладають додаткові обмеження на застосування окремих методів енергозберігання. Тому для ефективного енергозбереження необхідно застосовувати сукупність методів енергозберігання в залежності від умов функціонування СМ. Доцільність застосування окремих методів необхідно оцінювати з застосуванням імітаційного моделювання.

В якості показника ефективності методів енергозбереження пропонується

використовувати відносний приріст часу життя мережі $\delta t_{ж}$. Тоді

$$\delta t_{ж} = \frac{t_{ж}}{t_{ж0}},$$

де $t_{ж}$ – час життя мережі з застосуванням методу енергозбереження, $t_{ж0}$ – час життя мережі без застосування методу енергозбереження.

Якщо час життя визначається функціонуванням всіх вузлів мережі, тоді

$$t_{ж} = \min \{t_{жи}\}, i = \overline{1, N},$$

де $t_{жи}$ – час життя i -го вузла, N – кількість вузлів.

Час життя в залежності від покладених на СМ задач може визначатись через відсоткову кількість вузлів, які вийшли з ладу, втрату «зони покриття» моніторингу тощо.

Взагалі час життя СМ можна визначити як проміжок часу, впродовж якого СМ може виконувати покладені на неї задачі. В процесі функціонування і поступового виходу з ладу окремих вузлів (а саме, вичерпання їх енергетичних ресурсів) СМ може втратити зв'язність між своїми ділянками, що не дозволить передачу даних адресату окремими вузлами мережі[1].

Тому в подальшому при проведенні досліджень під часом життя мережі пропонується використовувати час функціонування мережі зі збереженням можливості ретрансляції повідомлень від діючих вузлів до адресата.

2.2 Метод енергозбереження сенсорної мережі з надлишковою кількістю неоднорідних вузлів

Однією з проблем розгортання сенсорних мереж призначення є проблема покриття зон моніторингу. Для сенсорних мереж крім покриття визначеної зони моніторингу та основних мережевих характеристик висувуються також вимоги з оперативності розгортання, надійності, живучості, скритності, можливості протидії засобам радіоелектронної боротьби. Так для

оперативного розгортання СМ використовується розсіювання вузлів СМ з літака, ракети або інші засоби випадкового розміщення. При цьому забезпечити необхідну зону покриття при виконанні вимог до СМ та випадковому розташуванні сенсорів можливо тільки за допомогою внесення значної надлишковості кількості вузлів.

Надлишковість вузлів дозволить підвищити якість покриття зони моніторингу, але призведе до зайвих енерговитрат та взаємних завад в СМ. Крім того, в районі моніторингу для організації СМ можуть бути задіяні неоднорідні сенсорні вузли з різними радіусами зон моніторингу та передачі даних. Тому постає актуальною задача розробки методів енергозбереження сенсорної мережі з надлишковою кількістю неоднорідних вузлів, які забезпечують задане перекриття зон моніторингу та задану зв'язність окремих неоднорідних вузлів в напрямку передачі даних адресату для виконання вимог до сенсорних мереж[12].

Взагалі, для енергозбереження сенсорних мереж з щільним розташуванням вузлів, перекриттям зон моніторингу та зон передачі даних використовуються методи циклічного відключення надлишкової кількості вузлів на визначений період часу. Відключені вузли зберігають ресурс батарей і в подальшому можуть замінити вузли, які більше інших витрачають енергетичний ресурс.

Основна задача методів даного класу полягає в виборі тих вузлів СМ, які на черговому циклі роботи можуть бути відключені. Для цього можуть бути використані дані про розташування (координат) вузлів або їх зв'язність.

Метод GeRaF (Geographic Random Forwarding) використовує адаптивну випадкову схему включення/відключення вузлів СМ з передачею даних активному в даний час вузлу, координати якого ближче до адресата .

Метод Span (An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks) на основі інформації про зв'язність

вузлів вибирає «координаторів вузлів мережі», які функціонують на черговому циклі роботи мережі і здійснюють маршрутизацію інформаційних потоків .

В методі ASCENT (Adaptive Self-Configuring Sensor Networks Topologies) неактивні вузли знаходяться в режимі прослуховування і при необхідності за відповідним алгоритмом переходять в активний стан.

Проблемі забезпечення заданого перекриття зон моніторингу та заданої зв'язності окремих вузлів присвячено ряд робіт .

Були розроблені ряд методів енергозберігання при забезпеченні заданих показників мережі при застосуванні різномірних сенсорів, з яких найбільш ефективними за результатами моделювання на даний час є методи EECCR (An Energy-Efficient m-Coverage and n-Connectivity Routing Algorithm Under Border Effects in Heterogeneous Sensor Networks) та ECR (An Energy Conserving Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks) .

В даних методах здійснюються такі основні децентралізовані функції управління мережею:

- на прикладному рівні моделі OSI на етапі планування випадковим чином загальна кількість сенсорних вузлів мережі розбивається на визначену кількість підмножин вузлів, що функціонують в різні періоди часу і забезпечують задану якість покриття зони моніторингу і зв'язність мережі;
- на мережевому рівні моделі OSI на етапі оперативного управління на початковій стадії забезпечується необхідна зв'язність мережі шляхом включення, при необхідності, окремих вузлів в склад різних підмножин;
- на мережевому рівні моделі OSI на етапі оперативного управління періодично в кожній підмножині забезпечується маршрутизація повідомлень в напрямку шлюзу з підтримкою визначеної кількості маршрутів;

- управління включенням, відключенням вузлів здійснюється на прикладному рівні моделі OSI з використанням методів синхронізації мережі.

При аналізі вищезазначених методів було виявлено ряд їх недоліків, що не дозволяють мінімізувати енергоспоживання СМ. Так метод ЕЕССР при призначенні маршрутів не враховує ємність батарей вузлів і використовує тільки найкоротші маршрути до шлюзу, що призводить до великого енергетичного навантаження на окремі вузли і їх передчасного виходу з ладу. Метод ЕСР виправляє окремі недоліки методу ЕЕССР, але не вирішує задачу максимізації часу життя сенсорної мережі.

Випадковий характер розподілу періодів функціонування цих вузлів може призвести до збільшення їх енерговитрат і передчасного виходу з ладу, що в свою чергу, призведе до неможливості збору даних всією мережею. Періодична реконфігурація мережі в методі ЕСР вносить затримки в зборі даних моніторингу і не вирішує проблему підвищеного навантаження на окремі вузли. Принцип розбиття загальної кількості вузлів на підмножини і їх функціонування не достатньо використовують можливості енергозбереження. Так в зазначених методах при перевищенні необхідної кількості вузлів, наприклад, в 1,9 разів механізми енергозбереження взагалі не будуть задіяні (використовуються тільки цілі числа разів перевищення загальної кількості вузлів над необхідною). Крім того вище вказані методи не відповідають вимогам, що висуваються до сенсорних радіомереж спеціального призначення.

Суть методу полягає в тому, що на початковому етапі планування мережі на прикладному рівні моделі OSI загальна чисельність вузлів СМ розділяється на визначену кількість підмножин вузлів, що працюють в різні періоди часу. Необхідна кількість підмножин вузлів та періодів їх функціонування визначаються за допомогою розроблених алгоритмів з використанням залежностей ступеня m -кратного покриття та n -кратної зв'язності від кількості вузлів, які отримуються з математичної моделі СМ і приводяться нижче.

В подальшому на етапі оперативного управління мережею на мережевому рівні моделі OSI розроблений алгоритм маршрутизації організує функціонування підмножин вузлів для забезпечення зберігання їх енергетичних ресурсів та максимізації «часу життя» сенсорної радіомережі при забезпеченні заданих показників перекриття зон моніторингу та зв'язності вузлів. Для чого на початковій фазі відповідно розробленого алгоритму маршрутизації спочатку встановлюються маршрути передачі даних від кожного вузла в напрямку шлюзу, при чому, при необхідності, окремі вузли включаються в склад різних підмножин для забезпечення заданої зв'язності мережі. Після встановлення маршрутів відповідно розробленому алгоритму маршрутизації здійснюється передача даних з періодичною реконфігурацією мережі. Спочатку розглянемо модель СМ та визначимо залежності якості покриття СМ від кількості вузлів.

Метод енергозбереження включає в себе наступну послідовність дій:

1. Визначення необхідної кількості необхідної кількості множин вузлів СМ та часових періодів їх функціонування.
2. Розбиття вузлів СМ на визначену кількість підмножин та періодів функціонування.
3. Організація та забезпечення маршрутизації повідомлень в СМ з урахуванням:
 - періодів функціонування та використання енергетичних ресурсів вузлів;
 - вимог зменшення та рівномірності навантаження на вузли, наближені до шлюзу;
 - вимог з відновлення зв'язності мережі при виході з ладу окремих вузлів за допомогою відповідного розробленого алгоритму.

2.3 Енергозберігаючий метод агрегації даних сенсорної мережі з надмірною кількістю вузлів

Для забезпечення надійного покриття районів моніторингу датчиками може застосовуватися їх надмірна кількість. Особливо це актуально при

випадковому розсіюванні вузлів над районом моніторингу для забезпечення оперативності розгортання СМ. При цьому надмірна кількість вузлів призводить до зростання обсягів і надмірності переданих даних. У цих умовах одним із шляхів збільшення тривалості функціонування (часу життя) сенсорних радіомереж є агрегація даних.

Агрегація даних в мережі дозволяє:

- виключити втрату повідомлень при перезавантаженні трафіку на окремих ділянках мережі за рахунок зменшення обсягу переданих даних;
- зменшити використання енергетичних ресурсів окремих вузлів мережі і, відповідно, збільшити «час життя» мережі;
- зменшити вплив помилково певних даних сенсорів.

У свою чергу агрегація даних має недолік - при втраті або компрометації одного повідомлення агрегатних даних губляться дані від відповідної групи вузлів.

Для СМ з надмірною кількістю вузлів (НКВ) можна визначити основні вимоги до методів агрегації:

- забезпечення зменшення використання енергоресурсу вузлів для збільшення тривалості функціонування мережі;
- незалежність від реалізації методів управління на різних рівнях моделі OSI;
- забезпечення зменшення обсягу даних за рахунок надмірності, часової і просторової кореляції інформації з допустимою втратою точності;
- забезпечення безпеки і неможливості компрометації даних;
- забезпечення функціонування в умовах виходу з ладу окремих вузлів
- облік концентрації трафіку на наближених до шлюзу вузлах;

- забезпечення обробки даних різного пріоритету.

Передчасне виснаження їх енергії батареї призведе до втрати зв'язності з цією підмережею. В даному випадку зменшити використання енергоресурсу можна тільки зменшенням обсягів передачі даних по окремим допустимої втратою їх точності.

Суть пропонованого методу полягає в обмеженні кількості передач про конкретні вузлів цикл збору даних з організацією на них черг передачі повідомлень, при переповненні яких здійснюється агрегація повідомлень за рахунок їх часової і просторової кореляції з допустимою втратою точності.

Для організації агрегації шлюз періодично проводить збір даних про залишок енергоресурсу вузлів мережі, отримує середню його значення, вибирає вузли, які більше за інших витратили енергоресурс, визначає для них максимальну довжину черги і кількість передачі повідомлень в період збору даних. Після визначення кількості передач повідомлень і довжини черги агрегація здійснюється децентралізовано на окремих вузлах автоматично при переповненні черги.

Етапи застосування методу на окремому вузлі наступні:

1. Формування і передача повідомлення даних вузлом-джерелом даних.
2. Прийом, перевірка, обробка повідомлень і формування черг передачі даних.
3. Агрегація даних за рахунок тимчасової і просторової кореляції даних. Так згідно з визначеними значенням переповнення черги здійснюється групування повідомлень з використанням полів повідомлень, що містять координати. Після цього формуються агреговані повідомлення, в яких дані і координати усереднюються. Для цього формати даних повинні бути узгоджені. Початкові повідомлення, дані яких агреговані, видаляються.

4. Агреговане повідомлення передається в напрямку шлюзу і може бути ще раз агрегований на наступних вузлах.

2.4 Метод кластеризації у безпроводових сенсорних мережах з використанням нечіткої логіки

Кластеризація - це механізм, який може використовуватися в безпроводових сенсорних мережах для забезпечення ефективного використання ресурсів та є невід'ємною частиною в ієрархічних протоколах маршрутизації. Вона забезпечує стабільність мережевої топології, енергозбереження та збільшення строку життя мережі. Загально прийнятої класифікації методів кластеризації не існує, але можна виділити низку підходів, причому деякі методи можна віднести до декількох груп.

Методи кластеризації за способом обробки даних поділяються на дві основні групи:

1. ієрархічні
2. неієрархічні.

Кожна група включає в себе багато алгоритмів та підходів.

Ієрархічні методи кластеризації розрізняються правилами побудови кластерів. В якості умов правил виступають критерії, які використовуються при вирішенні питання „подібності” об'єктів. При ієрархічній кластеризації виконується послідовне об'єднання менших кластерів у великі (агломеративні методи) або розбиття (розділення) великих кластерів на менші (дівізімні методи).

Значна частина неієрархічних методів – це ітеративні методи, які за способом аналізу даних поділяються на чіткі та нечіткі. Нечіткі методи кластеризації дозволяють одному і тому ж об'єкту належати одночасно декільком (або навіть усім) кластерам, але в різній мірі. Нечітка кластеризація в багатьох ситуаціях більш „природня”, чим чітка, наприклад, для об'єктів, що

розташовані на межі кластерів. За кількістю застосувань алгоритмів кластеризації методи можуть з одноетапною та з багато етапною кластеризацією.

Процес кластеризації складається з двох фаз, які в свою чергу діляться на два етапи:

1 фаза: вибір головного вузла кластера СН (Cluster Head), формування кластера;

2 фаза: агрегація/збір даних і передача даних.



Рис.10 Фази кластеризації

Як правило, методи кластеризації безпроводних сенсорних мереж класифікують, в загальному виді, по таким атрибутам: характеристики кластерів, характеристики головних вузлів кластеру, за процесом проведення кластеризації, за стадіями кластеризації.

За характеристиками кластерів, методи кластеризації можуть класифікуватись по кількості організованих кластерів в мережі, це може бути як фіксована так і нефіксована (змінна) кількість кластерів. По розмірам кластери можуть включати однакову або різну кількість вузлів. Маршрутизація всередині кластерів виконується або односкачковим або багатоскачковим методом. Відповідно, між кластерами, всередині мережі, можуть використовуватись як односкачкові, так і багатоскачкові методи маршрутизації. Головні вузли кластерів за своїми функціональними можливостями бувають однорідні, тобто ті, які мають однакову ємність акумуляторів, потужність передавача та ін., та гетерогенні, які відрізняються

між собою по даним можливостям. Класифікуються також, за мобільністю (мобільні або стаціонарні), за виконуваними функціями (ретрансляція, збір даних, агрегація і т.д.), за управлінням (централізоване, децентралізоване, гібридне).

Призначення функцій вузлам може виконуватись визначено або випадково, так як і час формування кластерів, в деяких методах кластеризації є визначеним (детермінованим), в інших змінним. Зважаючи на обмеження сенсорної мережі, з точки зору потужності передавача, пропускну здатності, ємності акумулятора (і т.д.) та для ефективного використання наявних ресурсів застосовують різні методи та алгоритми кластеризації.

На даний час в безпроводових сенсорних мережах найчастіше використовуються такі методи кластеризації:

- CACC (Clustering Algorithm based on Cell Combination),
- VAP-E (Energy-Efficient Clustering -Virtual Area Partition),
- CFL (Clustering for Localization),
- KOCA (K-Hop Overlapping Clustering Algorithm), Hausdroff Clustering,
- LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) та різні його модифікації,
- TEEN (Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols),
- DEEC (Distributed Energy Efficient Clustering),
- GMAC (Group Mobility Adaptive Clustering) та інші.

В кожному раунді роботи мережі вибір головного вузла кластера пропонується здійснювати на основі методу нечіткої логіки враховуючи особливості мережі.

Зокрема, в якості метрик використовувати такі параметри :

- можливості функціонування (гетерогенні, однорідні);

- метод маршрутизації між кластерами та всередині кластеру (односкачкова, багато скачкова);
- мобільність (вузлів, головних вузлів, шлюзів)
- управління (централізоване, децентралізоване, гібридне);
- режими збору даних (по запиту, по графіку, по подіям);

Висновок до розділу 2

На даний час розроблена значна кількість методів, які застосовуються для оптимізації роботи мережі, енергозбереження та покращення якості функціонування мережі. Управління витратами енергії в сенсорних вузлах має важливе значення для підвищення часу роботи мережі та підвищення ефективності функціонування БСМ в цілому.

Тому, для збільшення часу функціонування безпроводової сенсорної мережі, було запропоновано метод кластеризації із використанням нечіткої логіки. Основна множина методів циклічного відключення надлишкової кількості вузлів можуть в деякій мірі збільшити час функціонування мережі, але вони не враховують вимог до СМ (особливо з надійності та живучості) і не забезпечують задане перекриття зон моніторингу та зв'язності вузлів.

Також, методи агрегації даних (МАД) забезпечують зменшення обсягів передачі даних базується на надмірності кількості вузлів СМ і той факт, що датчики сусідніх вузлів отримують схожі дані. Тому для зменшення обсягу даних можна усереднювати дані від сусідніх вузлів і передавати одним повідомленням.

Розділ 3

Аналіз сучасних розробок в області сенсорних мереж

3.1 Вибір енергозберігання головного вузла кластера в бездротових сенсорних мережах для додатків Інтернет речей

(Chun-Liang, Sheng-Yuan)

Інтернет речей (IoT) поєднує технології, які включають в себе зондування, комунікацію, мережу і хмарні обчислення на великій території зондування. Найбільш підходящою інфраструктурою для IOT-додатків для моніторингу мережі є бездротові сенсорні мережі (wireless sensor networks - WSN). З метою продовження терміну служби сенсорних вузлів, розгорнутих для зондування, розроблені схеми вибору енергоефективних кластерних головок (cluster head - CH). Енергозбереження цих сенсорних вузлів необхідне, щоб уникнути швидкого розряду батареї. Таким чином, запропоновано метод енергозберігаючого вибору CH (energy saving CH selection - ESCHS) для поліпшення терміну служби мережі систем, розроблених для IOT-додатків. Цей метод використовує ідею рівномірної кластеризації для формування кластерів. CH вибирається виходячи з залишкової енергії окремих вузлів датчика. Вузол, який має залишкову енергію, що перевищує середню залишкову енергію відповідного кластера, вибирається для кваліфікації як CH. Отримані результати показують, що запропонований метод перевершує існуючі методи з точки зору енергозбереження та терміну служби мережі.

Останнім часом в області Інтернету речей проводиться багато досліджень з метою розвитку розумного світу. Сам світ інтегрований з сенсорними, мережевими, комунікаційними та хмарними обчислювальними технологіями. Датчики, розміщені у великомасштабній щільному середовищі для таких додатків, як моніторинг дикої природи, моніторинг погоди, моніторинг дорожнього руху, інтелектуальні будівлі, Автоматизація підлоги, моніторинг

лісових пожеж і т.д. при підключенні до Інтернету стає IoT. Потужна маршрутизація і мережеві бази для IoT WSN. Галузі промисловості зосереджені на зниженні вартості та енерговитрат сенсорних вузлів, вбудованих в різні програми. WSN грає головну роль в IoT, так як він збирає велику кількість фізичних даних з великомасштабного середовища моніторингу. Зібрана фізична інформація використовується в таких додатках, як системи спостереження на полі бою, інтелектуальні транспортні системи, системи охорони здоров'я, моніторинг навколишнього середовища, промисловий контроль і т.д. крім того, WSN підтримує IoT для вирішення завдань масштабованості, а також підвищення енергоефективності. Це можливо, коли сенсорні вузли з обмеженою енергією влаштовуються самі і сприймають навколишнє середовище для збору інформації.

WSN являє собою число вузлів зондування, скажімо, в тисячах. Значна кількість сенсорних вузлів, розміщених в жорстких умовах, збирає і об'єднує великомасштабні фізичні дані і передає їх з базовою станцією (БС). Сенсорні вузли з'єднані між собою за допомогою WSN.

Найбільш важливо, щоб всі вузли, розміщені в робочому середовищі, працювали ефективно для задоволення потреб моніторингу великомасштабного середовища. Акумулятор виступає в якості джерела живлення сенсорних вузлів. Енергія цих сенсорних вузлів відводиться в основному за рахунок передачі і прийому інформації. Крім того, важко змінювати батареї сенсорних вузлів, розгорнутих далеко від людей. Щоб уникнути швидкого розряду батареї, важливо звести до мінімуму споживання енергії. Це прокладає шлях для поліпшення терміну служби мережі.

Дослідження з енергозбереження в WSN призводять до класифікації в методах кластеризації. При прямій передачі сенсорні вузли передають свою інформацію в базову станцію (BS) і тим самим споживають величезну кількість енергії. Методи формування кластерів мінімізують енерговитрати за рахунок зниження навантаження на передачу даних в BS, так як тільки на СН,

лідера відповідних кластерів, покладається ця відповідальність. В іншому випадку не СН знаходяться в режимі очікування. Це додатково економить енергію окремих вузлів. Кластери, які не є СН, стежать за територією зондування і передають отримані значення відповідним СН. СН у відповідних кластерах обробляє інформацію та надсилає її до BS. Таким чином, дальність передачі інформації іншими сенсорними вузлами зменшується до деякої міри, тим самим покращуючи залишкову енергію мережі. У цьому полягає важливість розробки енергоефективних алгоритмів вибору СН. Методів кластеризації в основному два, а саме розподілений і централізований. У централізованому алгоритмі BS сама збирає інформацію і ділить мережу на різні кластери. Такий підхід покращує енергозбереження, але не підтримує потреби WSN, таких як масштабованість. Тому він не підходить для великомасштабних WSN для додатків Інтернету речей. На відміну від централізованого підходу, BS має менше обов'язків у розподіленому підході. Тут кожен сенсорний вузол самоорганізується і приймає своє рішення.

Дослідники не задовольняються енергозбереженням у WSN. Низькоенергетична Адаптивна кластерна ієрархія (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy - LEACH) - це алгоритм вибору СН, що використовує розподілену схему кластеризації, де вузли СН вибираються на основі заздалегідь визначеної ймовірності. В алгоритмі LEACH, вузли СН самі збирають інформацію від не СН і обробляють дані. Нарешті, ця інформація передається в BS. У цьому методі повороти вузлів, щоб стати СН, продовжують змінюватися. Це зводить до мінімуму споживання енергії, коли витрата енергії кожного вузла стає стабільним за рахунок обертання СН. Це призводить до поліпшення терміну служби WSN. Фаза установки відповідає за прийняття рішення про СН і формування кластерів. Стаціонарна фаза свідка передачі інформації. Число в діапазоні 0 і 1 вибирається випадковим чином для кожного вузла. Якщо це дає значення менше деякого порогового значення, то цей конкретний вузол стане СН. Процес вибору СН важливий для того, щоб знизити споживання енергії. Таким чином, детермінований алгоритм LEACH

(D-LEACH) висувається шляхом додавання детермінованої складової до алгоритму LEACH [10]. Це концентрується головним чином на прийнятті рішення по СН. Це покращує енергозбереження сенсорних вузлів. Це пов'язано з додаванням компонента до порогового значення, що збільшує термін служби мережі. Залишкова енергія окремого вузла повинна бути відстежена для розробки методу D-LEACH.

У роботі для вибору СН пропонується ESCHS, яка фокусується на ефективному енергозбереженні. Після того, як буде визначено кількість кластерів, які будуть сформовані, будуть отримані середні точки всіх окремих кластерів. Обчислюється відстань кожного вузла щодо середніх точок кожного кластера. Сенсорні вузли розподіляються по відповідних кластерах в залежності від їх відстані. Якщо вузол датчика має мінімальну відстань з середньою точкою, то вузол належить до цього конкретного кластеру. Вузол із залишковою енергією, що перевищує середню залишкову енергію відповідного кластера, стає його СН. Для отримання ідеального розподілу вузлів враховується як середня відстань між СН до всіх вузлів датчика, так і залишкова енергія. Ця схема використовує рівномірну кластеризацію і врівноважує мережеве навантаження обертанням СН і тим самим збільшує економію енергії і покращує термін служби мережі[13].

Робота впорядкована наступним чином: в наступному розділі коротко викладається алгоритм вибору СН. Результати моделювання аналізуються в розділі 3, а робота завершується в розділі 4.

3.1.1. Енергозберігаючий вибір кластерної голівки (ESCHS)

Вузли розташовані випадковим чином на двовірній прямокутній сенсорній території розміром 100 x 100 м², як показано на рис. 1. ESCHS енергоефективний алгоритм енергозбереження розроблена з метою уточнення терміну служби WSN. Інформація про положення і енергії окремих сенсорних вузлів вже відома BS. СН визначається на основі залишкової енергії окремих

вузлів. Якщо вузол з мінімальною відстанню до середньої точки належить відповідному кластеру і якщо він має залишкову енергію, що перевищує середню залишкову енергію кластера, то вузол відповідає за кваліфікацію як СН. Це забезпечує ідеальний розподіл сенсорних вузлів в зоні моніторингу.

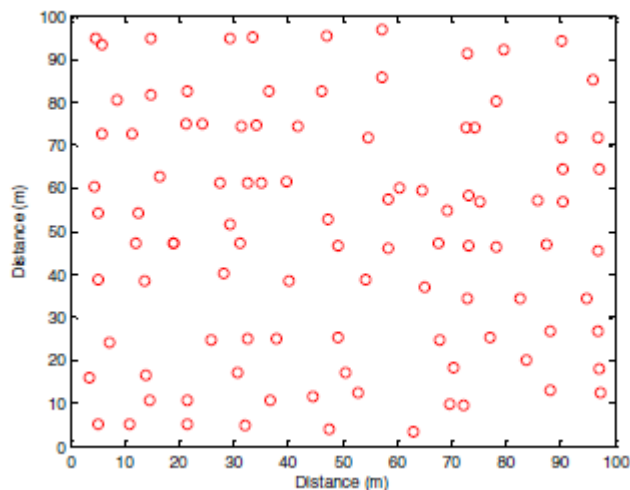


Рис 11. Сенсорні вузли, розгорнуті в зоні моніторингу

У WSN сенсорні вузли споживають більшу частину енергії під час передачі даних. СН споживають достатню кількість енергії під час передачі і прийому даних, споживає енергію при зондуванні території і зборі даних і передачі їх у відповідні чин його кластера. У той же час СН витрачає свою енергію на агресивного збору даних і передачу зібраних даних в BS. Для того, щоб передавати бітового повідомлення, WSN використовує радіо модель першого порядку. Як тільки вузол розгорнуто, починається фаза налаштування, яка включає в себе вибір СН і формування кластера. Розглянемо моніторинг навколишнього середовища з Q сенсорних вузлів.

Центральна точка географічного району отримана за допомогою

$$O = \frac{\sum_{k=1}^q y_k}{q} \quad (1)$$

Середня відстань між центральною точкою і всіма сенсорними вузлами становить

$$A = \frac{\sum_{k=1}^q |y_k - O|}{q} \quad (2)$$

Розташування початкової точки кожного кластера обчислюються

$$p_{kx} = A \cos\left(\frac{360}{\alpha}(k-1)\frac{\pi}{180}\right) + O_x \quad ; k = 1, 2, \dots, \alpha \quad (3)$$

$$p_{ky} = A \sin\left(\frac{360}{\alpha}(k-1)\frac{\pi}{180}\right) + O_y \quad ; k = 1, 2, \dots, \alpha \quad (4)$$

Встановлення початкових середніх точок скорочує час ітерації для формування кластера. На початковому етапі етапу налаштування необхідно ініціалізувати число кластерів (α). Він може бути розрахований за допомогою

$$\alpha = \left[\frac{\sqrt{q}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\beta_{fs}}{\beta_{mp}} \frac{L}{S_{CH-BS}^2}} \right] \quad (5)$$

де L позначає сторону заданого квадратного поля, β_{fs} і β_{mp} позначає характеристики підсилювача транзистора,

S_{CH-BS}^2 позначає середню відстань між БС та СН вузлами.

Після встановлення початкових середніх точок БС використовує локальну інформацію про всі вузли, включаючи інформацію про місцезнаходження та залишкова енергія для утворення кластерів. Оскільки БС є відповідальний за моніторинг діяльності вузлів датчиків, ESCHS є підхід централізованого відбору СН. Вузели датчиків є класифікуються за відповідними кластерами за допомогою

$$\text{avg}_G \min \sum_{k=1}^{\alpha} \sum_{y_j \in G_k} |y_j - p_k|^2 \quad (6)$$

G_k позначає кластер k , y - координата вузлів, p_k – k^{th} середина.

(6) дає найменшу середню відстань між серединою точки та датчики для всіх кластерів. Сформувані рівномірно розподілені кластери, найменша відстань між середніми точкам, а датчики обчислюються. Вузли класифікуються на кластери залежно від цієї найменшої відстані. Якщо y_j лежить найбільш близько p_k у z^{th} ітерації, тоді вузол j вибере кластер k і задається від

$$G_k^z = \{y_j : |y_j - p_k^z|^2 \leq |y_j - p_{k^*}^z|^2 \quad ; \forall k^* = 1, \dots, \alpha \quad (7)$$

Кожен датчик приєднується лише до одного кластеру і (7) вирішує вузол j потрапляє під який кластер k в z^{th} ітерації. Після класифікації всіх вузлів до відповідних кластерів робиться нова, середні бали отримуються за допомогою

$$p_k^{z+1} = \frac{1}{G_k^{(z)}} \sum_{y_j \in G_k^{(z)}} y_j \quad (8)$$

$G_k^{(z)}$ позначає кількість датчиків у кластері k . Нова середня точка отримується, коли сенсорні вузли знову класифікуються за виконанням (7) та (8) для отримання найменшого середнього відокремлення між сенсорними датчиками та новими середніми точками. Отримаються кінцеві кластери тоді, коли кожен вузол буде доопрацьований у відповідних кластерах. Коли залишена енергія кожного вузла враховується, збільшується економія енергії, що покращує мережу час життя.

3.1.2. Імітаційний аналіз

Результати спостерігаються за допомогою інструменту MATLAB 2015A. У таблиці 1 наведені технічні характеристики, використовувани при

моделюванні алгоритмів. Запропонований алгоритм моделюється з використанням однорідних понять кластеризації. Як тільки середні точки кожного кластера розташовані, ті сенсорні вузли, які розташовані поруч з відповідними середніми точками, класифікуються як вузли цього відповідного кластера.

Після того, як кластери сформовані, СН визначається в залежності від енергії, що залишилася в кожному вузлі. Вузол з енергією, що перевищує середню залишкову енергію відповідного кластера, відповідає за утримання положення СН. Відмінність від ESCHS, вибір СН в звичайних LEACH використовує порівняння між кількістю, що генерується випадковим чином і пороговим значенням. Детермінована складова включається в порогову складову LEACH і тим самим поліпшується залишкова енергія в схемі D-LEACH. Справедливе порівняння між ESCHS, LEACH і D-LEACH алгоритмів в даній роботі. При моделюванні використовується радіомодель першого порядку. При цьому враховується витрата енергії на передачу інформації між HE СН до СН і СН до BS з використанням

$$F_{T(w,s)} = \begin{cases} wF_e + w\beta_{\text{e}} s^2 & ; s < s_0 \\ wF_e + w\beta_{\text{mp}} s^4 & ; s \geq s_0 \end{cases} \quad (9)$$

де s - відстань між вузлами до СНs або BS і 0 s дорівнює опорна відстань.

Енергію, витрачену для збору w -бітових повідомлень, задається

$$F_{R(s)} = F_e w \quad (10)$$

ТАБЛИЦЯ 1
 Параметри використані в симуляції

Символ	Параметр	Значення
F_e	енергія, витрачена на електроніку	50 nJ / bit
$\beta_{\text{пр}}$	дві моделі променевої рефлексії наземної енергії зв'язку	0.0013 pJ / bit / m ⁴
β_e	енергія комунікаційної моделі поширення вільного простору	10 pJ / bit / m ²
w	біти, що представляють інформацію	2000 bits
d_0	відстань порогу зондування регіону	70 m
	БС локація	100 X 100 (50, 175)
	кількість вузлів	50, 100, 200
	кількість ітерацій	2000

Структура кластеризації ESCHS, LEACH і D- LEACH показаний на фіг 3, фіг. 4 і фіг. 5 відповідно. При спостереженні за структурою кластеризації ми можемо бачити, що вузол, який утримує позицію СН, відрізняється у всіх трьох алгоритмах. Залишкова енергія будується для багатьох раундів для 50 вузлів і 100 вузлів, як показано на фіг. 6 і фіг. 7. Результати показують, що залишкова енергія підвищується в ESCHS в порівнянні зі звичайним LEACH і алгоритм D-LEACH. Результати, що спостерігаються після 1000 раундів для 50 вузлів, показують, що економія енергії поліпшується на 26,14% в ESCHS при порівнянні з LEACH і на 22,40% при порівнянні з D- LEACH. Знову ж таки, спостерігаючи за станом ESCHS, очевидно, що навіть після “смерті” мережі LEACH, ESCHS все ще жива з 28,28% - вою економією енергії. Точно так само після ‘смерті’ D-LEACH мережі, ESCHS живий з 25.11%-вою економією енергії. Результати, що спостерігаються після 1000 раундів для 100 вузлів, показують, що економія енергії в ESCHS поліпшується на 10,80% в порівнянні з LEACH і на 9,14% в порівнянні з D-LEACH. Навіть після ‘смерті’ мережі LEACH, ESCHS живий з 16.00% економії енергії. Точно так само після смерті

D-LEACH мережі, ESCHS живий з 14.12% економії енергії. Порівняння показує ESCHS значно добре виконувати при розгортанні більшу кількість вузлів. Фіг. 8 і фіг. 9 показує час життя вузлів краще використовувати ESCHS. Це відбувається тому, що вузли вмирають пізно в ESCHS в порівнянні з LEACH і D-LEACH, як видно з гістограми. При моделюванні як для 50, так і для 100 вузлів спостерігаються аналогічні варіації для першої смерті вузла. Моделювання за допомогою 50 вузлів показує, що ESCHS починають вмирати на 9.45% пізніше, ніж LEACH і 5,05% пізніше, ніж D-LEACH. Також симулятори через 100 вузлів показує, що ESCHS починають вмирати 9.55% пізніше в порівнянні з LEACH і 4.70% пізніше в порівнянні з D-LEACH. Використовуючи алгоритм ESCHS, мережеві функції протягом багатьох раундів, ніж LEACH і D-LEACH.

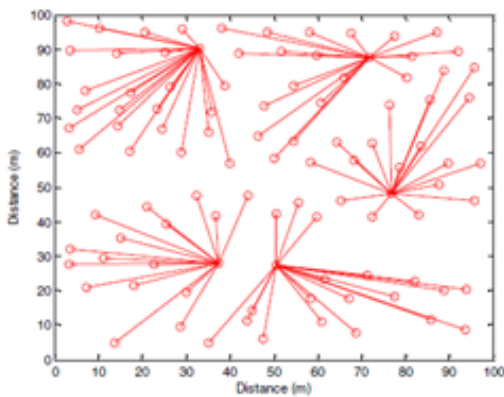


Fig. 4. Structure depicting clustering in LEACH

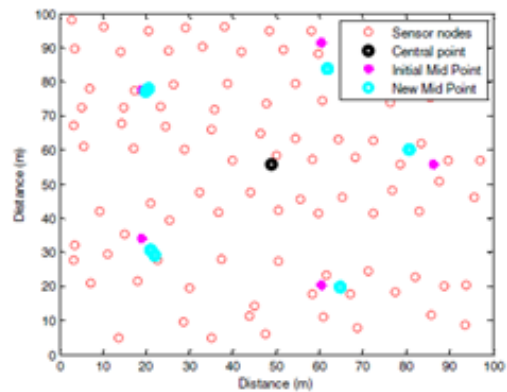


Fig. 2. Cluster formation based on uniform clustering

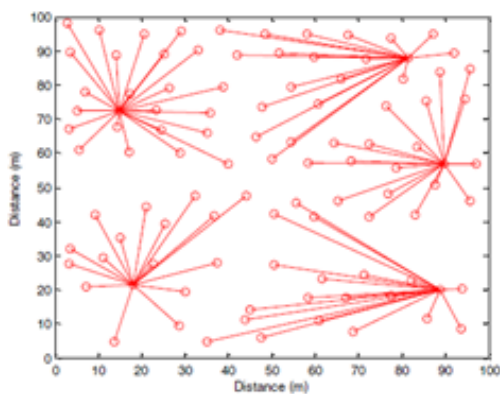


Fig. 3. Structure depicting clustering in ESCHS

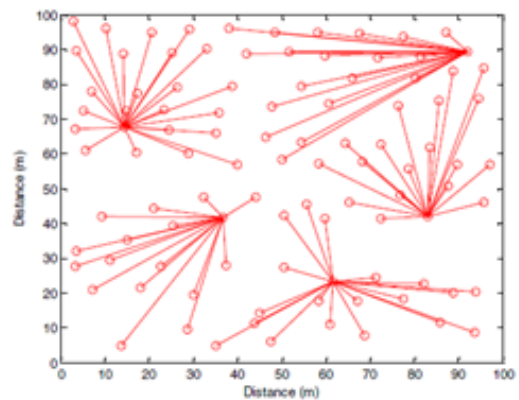


Fig. 5. Structure depicting clustering in D-LEACH

Рис.12 Структури кластеризації ESCHS, LEACH і D- LEACH

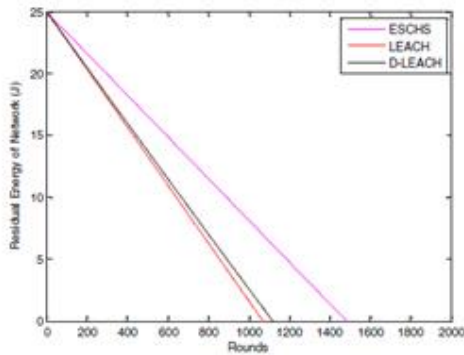


Fig. 6. Residual Energy vs. Rounds for 50 nodes

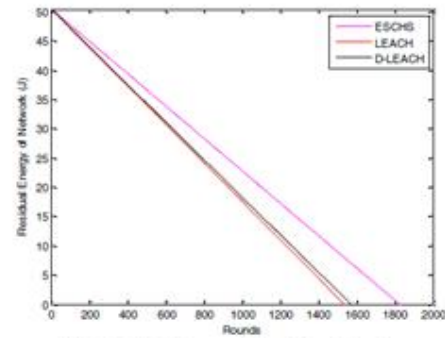


Fig. 7. Residual Energy vs. Rounds for 100 nodes

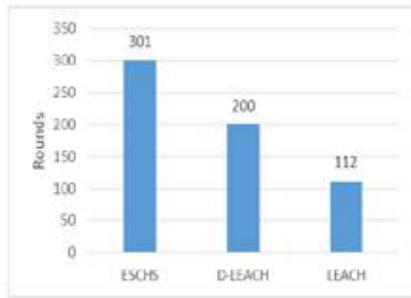


Fig. 8. First node dead for 50 nodes

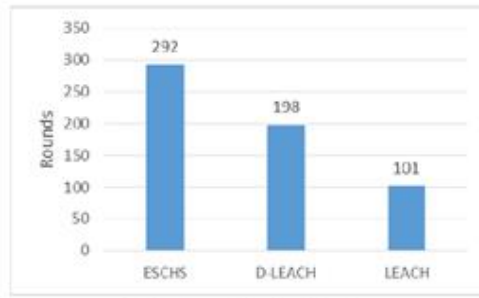


Fig. 9. First node dead for 100 nodes

Рис.13 . Залишкова енергія раундів для 50 вузлів і 100 вузлів.Порівняння часів життя вузлів ESCHS.

3.2 Активна та інтелектуальна енергозберігаюча система.

Розроблена за допомогою модулів WSN та аналізу ефективності

(Aniji John, Angaha Rajput and Vinoth Babu K)

В цьому експерименті в основному досліджувалось, як використовувати WSN, наприклад, на модулі бездротового зв'язку ZigBee та модулі Bluetooth, реалізованих в інтелектуальній енергозберігаючій системі життєзабезпечення, в якій є діюче та інтелектуальне енергозберігання, його відносні екологічні детектуючі та сенсорні модулі були дійсно побудовані для досягнення механізму енергозбереження. У цьому дослідженні застосовуються нові технології для створення активної та інтелектуальної енергозберігаючої системи, орієнтованої на роботу системи замість матеріалів або компонентів. З цим механізмом автоматичного виявлення та автоматичним судженням

програмного забезпечення заднього класу, а потім подавати сигнали управління зворотним зв'язком через двосторонній напрямок «Інтерфейс бездротового зв'язку», ця система може ефективно досягти мети енергозбереження.

В цьому дослідженні було побудовано не тільки гібридну WSN механізм зв'язку з 2,4 ГГц ZigBee та Bluetooth, в якому BT використовувався для проектування інтерфейсу між датчиками кінцевих пристроїв, такими як температура, освітленість, CO₂, кількість людей, вологість тощо, тоді як ZigBee був розроблений як механізм зв'язку між середній шлях та серверний комп'ютер, щоб динамічно збирати параметри роботи в просторі споживання електроенергії, але також були побудовані деякі практичні методи енергозбереження інше середовище для перевірки ефективності системи. Врешті-решт експериментальні результати були доведені цілком успішні та деякі місця розташування та пропозиції були рекомендовані до майбутніх досліджень.

3.2.1 Вступ

Розумний життєвий простір стає частиною передових методик в будівлях. У проведенні дослідів було використано: програма Living 3.0, який встановлює правила для зелених архітектурних матеріалів, техніка освітлення світлодіодів, розміщення WSN, інтегрований моніторинг та управління BACnet система тощо.

ZigBee став оптимальним пристроєм для практичного розміщення локального середовища бездротового зв'язку та в цьому досліді ZigBee використовувався для передачі інформації інтерфейсу даних датчика навколишнього середовища(температура, освітленість, CO₂, кількість людей, вологість тощо), який був би обчислений за допомогою вбудованої інтелектуальної системи агентів серверного комп'ютера як запущені параметри для управління зворотним зв'язком діючої інтелектуальної енергозберігаючої

системи. Прийняли Bluetooth як механізм зв'язку між кінцевим пристроєм (датчиком модулі) та середній або серверний комп'ютер.

3.2.2 Системні функції

У структурі є чотири частини і системні функції були посаджені наступним чином:

Функція 1: фактори навколишнього середовища (енергозберігаючі параметри роботи) датчик та детектування

Дизайн дослідження полягав у розробці датчиків модулів температура, вологість, освітленість, CO₂, кількість людей (запущені параметри) та інтерфейс передачі даних із WSN. Ці параметри будуть виявлені та відправлені до вбудований середній або серверний комп'ютер, які оцінюють фактори, чи повинна система переходити до зворотного зв'язку контроль інтелектуальним агентом відповідно до модулів WSN розміщено у відповідному місці, щоб відповідати умовам навколишнього середовища.

Функція 2: практичне розміщення WSN у владі місця споживання

У цьому дослідженні ми реалізували ZigBEE як екологічну інтерфейс датчиків для збору працюючих параметрів енергозберігаюча система та інтерфейс керованих об'єктів було використано БТ. Всі датчики були розроблені з модульним типом, так що ці датчики можуть бути реорганізовані клієнтами згідно їх екологічні особливості. На додаток до датчиків, пакетний протокол інформації може бути встановлений механізм комунікаційної мережі користувачами. Поки що практичне розміщення сенсорної мережі було встановлено в локальній будівлі, яка в основному використовувалися в нашому кампусі, такі як експериментальна лабораторія, комп'ютерна лабораторія, величезні офіси, великий семінар кімната.

Функція 3: програмне забезпечення для управління зворотним зв'язком для

серверний комп'ютер

Відповідальним був інтерфейс управління зворотним зв'язком сервера для збору всіх параметрів роботи від датчиків система енергозбереження, встановлена при певному споживанні енергії простір. Для всіх параметрів буде створена база даних для подальшого оцінювати показники функціонування ситуації управління зворотним зв'язком. Крім того, був розроблений ідентифікатор для кожного вузла кінцевого пристрою та ці ідентифікатори можуть бути переглянуті після розташування датчика вузли. Це означало параметри системного інтерфейсу візуальний режим відображення та користувачі могли легко дізнатися умову контрольованих об'єктів у просторі.

Функція 4: контроль зворотного зв'язку для керованої споруди в просторі споживання електроенергії

Повинні бути об'єкти споживання енергії контролюється сервером через усі датчики, і один раз стан деяких аномальних споруд повинен бути управляється за допомогою бездротової сенсорної мережі ВТ. Керований вузол можна розділити на одновимикачі та багатоперемикач, який контролювався системним управлінням програмне забезпечення візуалізованого інтерфейсу на серверному комп'ютері.

3.2.3 Створення zigbee і bluetooth для безпроводової сенсорної мережі

А. Дизайн програмного забезпечення координатора

У цій інтелектуальній системі енергозбереження Координатор був розроблений зі структурою зоряного верхнього лоджия і відповідальний за всі зібрані робочі параметри енергозберігаючої системи кінцевих пристроїв (сенсорні вузли), нарешті, надіслали всі параметри на сервер через Інтернет та UART інтерфейс, щоб отримати всіх інформація. Основні параметри обладнання Координаторабуло встановлено як

PAN ID = 0001, Координатор = 0001, BAUD = 19200 p.,

Max End Device Node = 100 та його програмне забезпечення

блок-схема показана на малюнку 15.

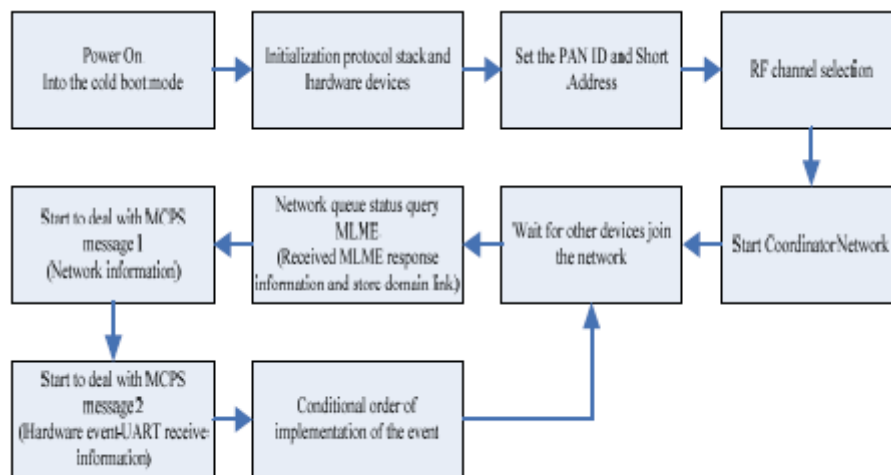


Рис.14. Діаграма дизайну програмного забезпечення Координатора

Компанія Jennic Corp. запропонувала інтерфейс API API черги

для мікросхеми JN5121, який міг би побудувати зв'язок між API,

IEEE 802.15.4 стек та драйвери апаратного забезпечення. Черга додатків

API можна розділити на 3 частини так[8]:

(1) MLME (послуги з управління MAC)

(2) MCPS (послуги даних даних MAC)

(3) HW (обладнання)

В. 3.2. Дизайн програмного забезпечення End Device

С. Основна конструкція з'єднання Bluetooth модулі

Схема розробки програмного забезпечення базового з'єднання

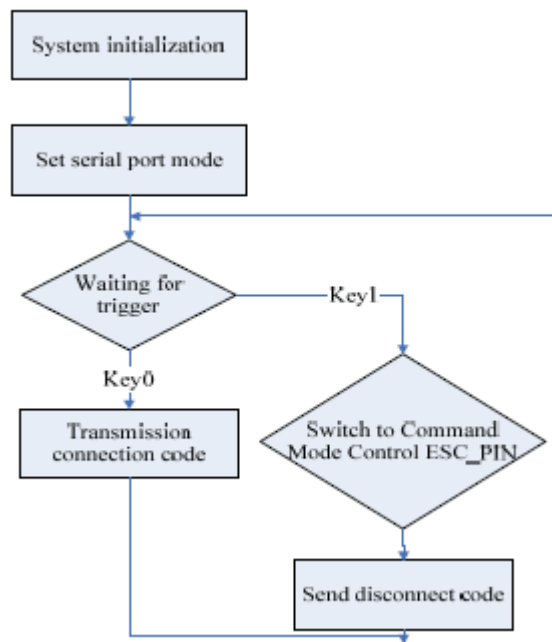


Рис.15. Схема проектування програмного забезпечення базового з'єднання модулю Bluetooth

3.2.4 Обробка інтелективної інформації і прийняття рішень

У цьому дослідженні онтологічний інформаційний агент з інтеграція рішень та методи проксі для інтелектуальних була запропонована обробка інформації, яка не тільки допомагає вся система дізнається правильні та інтегровані результати обробки, але підтримує проксі доступ до інформаційних рішень через а трирівневий процес пошуку рішення, як показано на малюнку 7. архітектура включає два основні модулі, а саме – CBR (Обґрунтування обставин, що ґрунтуються на конкретних випадках) та показує, як він взаємодіє із системним інтерфейсом. Рішення Finder розроблений для того, щоб служити центральним контролем у пошуку рішення. Забезпечити, щоб усі знання, що використовуються в ЦБ РФ та передбачення рішення може бути генеровано автоматично, у нас є введено та передбачувач рішення в систему. Вони будуть описані в наступних підрозділах.[7]

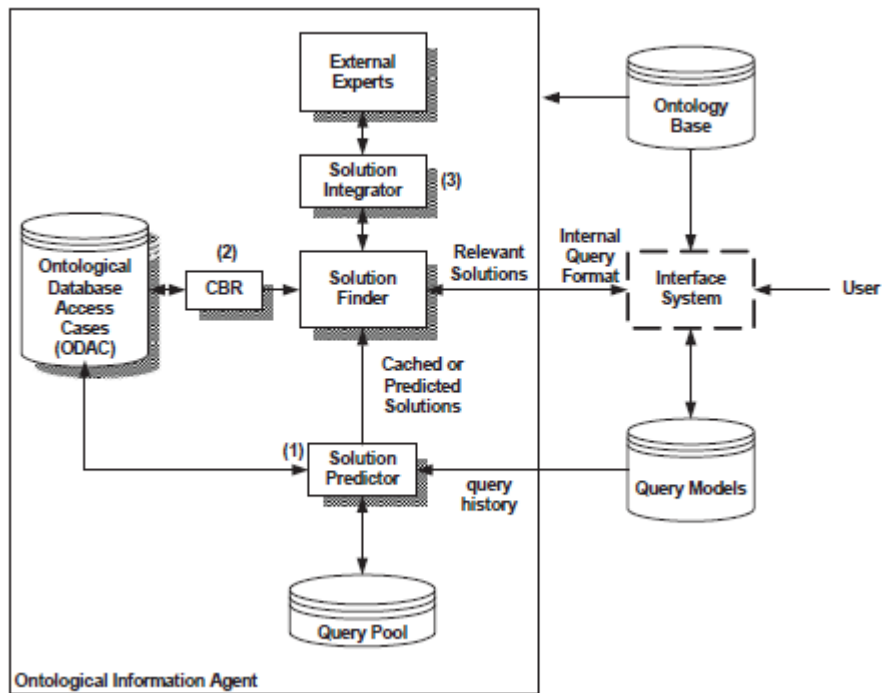


Рис.16. Архітектура системи

Як було сказано вище, Solution Finder - це менеджер системного контролю.

Після отримання запиту від системи інтерфейсів, він намагається зробити виробляють відповідь за трирівневим алгоритмом, який включає передбачення пошуку рішення, CBR та рішення інтеграція. Ми коротко підсумовуємо цей процес тут. Вони будуть детальніше пізніше.

I. Передбачення пошуку рішення: По-перше, пошук рішення перевіряє, чи існують передбачені результати в моделі запитів База. Якщо так, це безпосередньо створює відповідь, отриману з пара на питання-відповідь. Якщо немає, запускається Finder Solution CBR, щоб знайти рішення запиту.

II. CBR: Якщо даний запит вже існує в ODAC (Випадки доступу до онтологічних баз даних), пошук рішень безпосередньо виводить свою частину відповідей. Якщо немає, пошук рішень виконує адаптацію випадку для вирішення запиту.

III. Інтеграція рішень: останній механізм пошуку

Рішення полягає в запуску інтегратора рішень для інтеграції рішення зовнішніх експертів. Якщо це комплексне рішення приписується високим ступенем задоволеності користувача, це буде зберігатися в ODAC, служачи новим корпусом.

A. Прогноз рішення

По-перше, Майнер шаблонів запитів шукає часті послідовні запити шаблони всередині кожної групи запитів, використовуючи Full-Scan-with-PHP алгоритм, з історій запитів того самого запиту групи, як записано в Базі моделей запитів. Запитуйте Майнер тоді перетворює часті шаблони послідовних запитів у Case Retriever, яка відповідає за отримання відповідних рішень із ODAC та побудова "частих запитів" для зберігання в кеші Басейн. Модуль прогнозування, нарешті, спирається на часті послідовні шаблони запитів для побудови моделі передбачення для кожного запиту групи. Моніторинг узгодження зразка відповідає за моніторинг останні запити запитів та використання моделі прогнозування для створення наступні можливі запити для зберігання в пулі прогнозування. З цими два пули, що разом називаються Пул запитів, він забезпечує запит кеш і прогнозування запитів як механізм проксі для зменшення час відповіді на запит. Підсумовуючи інформацію про офлайн-операцію, Solution Predictor використовується для створення "частих запитів" для Кеш-пул та "передбачувані запити" для пулу прогнозування. Під час в режимі он-лайн, задаючи новий запит, Solution Finder передає запит до Solution Predictor, який використовує обидва запити можливі механізми керування прогнозування та кешування запитів рішення для запиту.

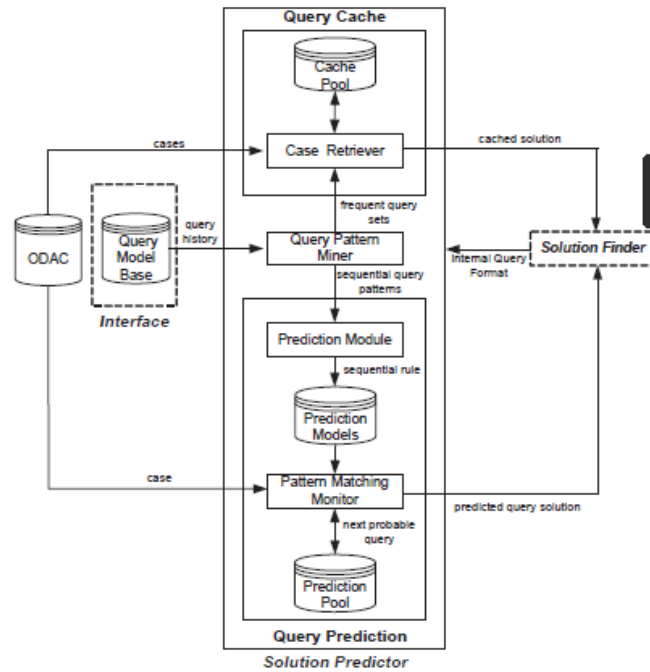


Рис.17. Детальна архітектура рішення передбачувача В. ЦБР

Знову ODAC є бібліотека справ, яка містить випадки запитів, створені операція підготовки інформаційної програми. Case Retriever є відповідальний за отримання справи з ODAC, що саме як або подібний до даного запиту. Тоді Case Reuser використовує цей випадок щоб перевірити наявність невідповідності цьому запиту. Якщо справа є абсолютно те саме, що і запит, він безпосередньо виводить його на користувач. Якщо випадок схожий лише на запит, він передає його в Case Ревізор для адаптації випадку. Case Reviser використовує домен онтологія разом з базою правил адаптації для адаптації отриманого кейс для користувача. База правил адаптації містить адаптацію правила, побудовані експертами по домену. Case Retainer є відповідальний за обслуговування ODAC, займається справою додавання, видалення та старіння.

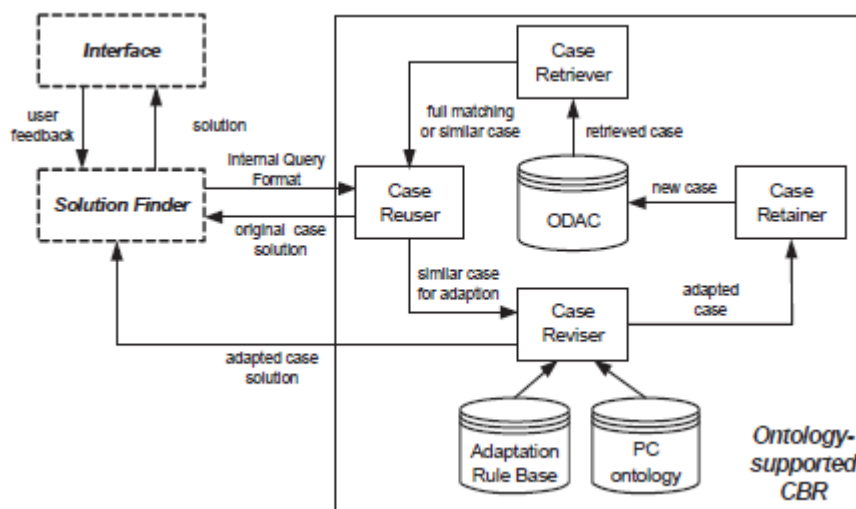


Рис.18. Детальна архітектура ЦНР, що підтримується онтологією

3.2.5 Функції Взаємодії Людини-Машини

А. Запит інформації про вузол

Вибравши функцію на екрані сенсорної панелі в меню серверний комп'ютер, користувачі могли запитати всю інформацію про вузли, компонування в просторі, яке б вказувало на потужність інформація про споживання та всі сенсори про біг параметри відповідно до назви будівлі, поверху, кімнати, ідентифікатора датчика(вузол), адресований у MAC-адресі. Якщо користувач хоче додати до нового найменування будівлі, поверху, кімнати або датчика, користувач може обрати функціональний правий бічний функціональний блок.



Рис. 19. Екран запиту інформації про вузли

В. Запит на історичну інформацію (режим даних)

У цьому дослідженні зібрані параметри запуску датчика від середовища споживання електроенергії було б заощаджено в одному заздалегідь побудована база даних, яка була б контролем зворотного зв'язку.

За основу судять інтелектуальний агент інтелігентного енергозберігаюча система. Якщо користувач обрав функцію "Історичні дані", то він міг би запитати історичні записи Росії одиночний вузол. Процедури запиту є те саме, що "запит на вузол", але функції були збільшено "рік", "місяць", "дата" та "час".

С. Запит на історичну інформацію (режим кривої)

Зібрані дані протягом тривалого періоду можуть відобразитися в кривий режим, і розроблений екран міг відображати 4 вузли одночасно в різних кольорах ліній, а також його MAC адреса та користувач могли перейти на потрібний проміжок часу.

Д. Комунікаційний протокол даних

У цій статті ми розміщуємо всі види вузлів (датчики збір параметрів роботи інтелектуальної енергозбереження система) та налаштувати протоколи зв'язку в ZigBee бездротова сенсорна мережа відповідно до назви будівлі, поверх номер, MAC-адреса вузла, тип датчика вузла та вузол Дані.

3.2.6. Практична енергетична система. Створення і перевірка операційної системи

А. Розміщення датчиків WSN

У цій роботі ми вибрали електричну та інформацію побудова технології як перевірка інтелектуального енергозберігаюча ефективність в нашому кампусі, і датчики були планування в лабораторії, аудиторії, кабінети, комп'ютерна лабораторія, величезна конференц-зал, який був найбільшим простором споживання електроенергії.

На рис.20 було показано зору пташиного електричного та будівництво інформаційних технологій, яке було окреслено с жовтою лінією та мережею ZigBee була використана розсіяна сітка структура домену, як показано на рис.21, на якій кожна сітка домен має свій власний ідентифікатор PAN, і було всього три мережі домени. С1 був вузлом координатора, який відповідав для інформації, що надходить з усіх чистих доменів, а потім надсилається інформацію на серверний ПК або вбудовану на середній шлях Ethernet.



Рис.20. Вид з пташиного польоту університету Св. Іоанна – Електричний Інженерно-інформаційна будівництво (жовто-контурно)

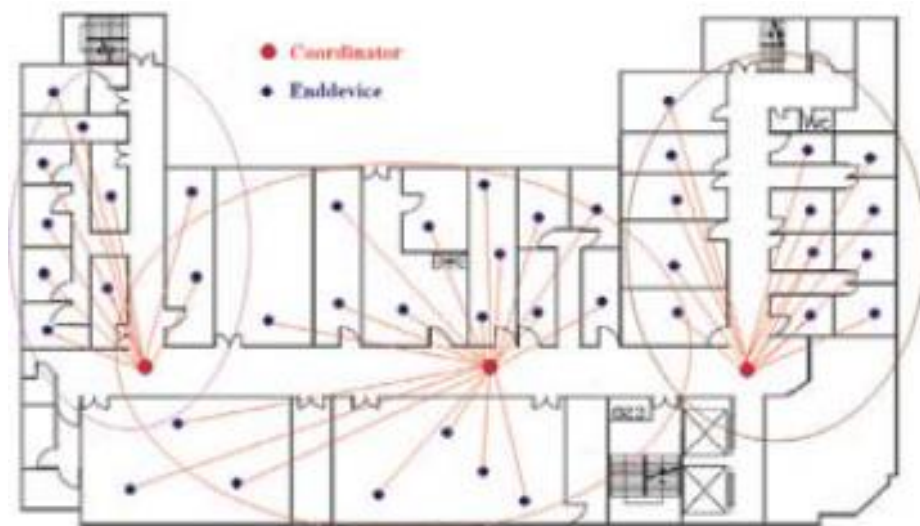


Рис.21. Практичне розміщення сенсорних вузлів 2 поверху в Електротехнічному та інформаційному будівництві

В. 6.2. Перевірка роботи системи та аналіз ефективності

У цьому дослідженні ми вже практично компоували цю програму Бездротові датчики ZigBee в різні навчальні лабораторії або кімната пробіли, як показано на рисунках. 16 і 17, в яких температура і датчики вологості були встановлені на модулях ZigBee. Щоб уникнути розташування занадто близько до виходу кондиціонера і генерував ненормальні дані. Місце розташування вузлівСлід враховувати, чи був простір високою щільністю люди чи ні, тому що чим більше людей у космосі, тим більше вище температура в просторі. Номер вузли компоування (датчики) залежали від розміру площі простору. В у цьому дослідженні 40 сенсорних вузлів, включаючи температуру та вологість виявлена функція була розподілена на 3 чисті домени ZigBee як показано на рис.22. Оскільки Координатору потрібно було зібрати всіх інформація датчика в будь-який час, джерело живлення координатора використовували цивільну електроенергію. Що стосується кінцевого пристрою, то інформація зібраний кінцевим пристроєм надсилався на сервер кожні 80 секунд і як тільки інформація буде надіслана, кінцеві пристрої будуть перейдуть в режим сну, щоб заощадити споживання енергії, тому ми звикли три акумулятори №3. Після довгого експерименту всі датчики може точно виконати завдання передачі і історичні дані були запитані та показані на екрані сервера з режимами даних та кривої.

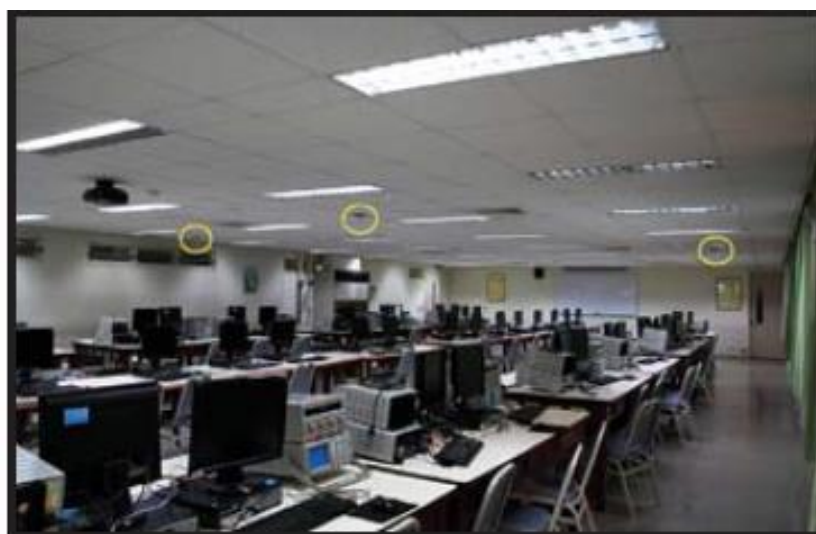


Рис.22 Практичне розташування сенсорних вузлів комп'ютерної лабораторії

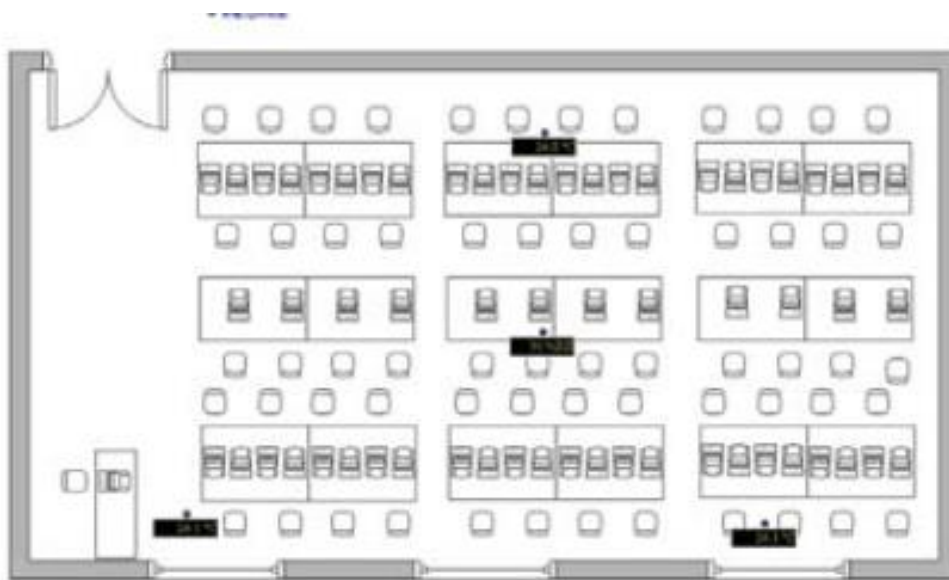


Рис.23. Відображений екран інтерфейсу розташування датчиків у комп'ютерна лабораторії

3.2.7 Результат роботи

Пристрій	Перед використанням системи енергозбереження	Після використання системи енергозбереження
Освітлення	$40 \text{ Вт} * 232 \text{ Група} = 9,280 \text{ кВт} / \text{год}$	7,424 кВт / год
Кондиціонування повітря	$10 \text{ кВт} * 19 \text{ Група} = 190 \text{ кВт} / \text{год}$	142,5 кВт / год
Комп'ютери	$400 \text{ Вт} * 153 \text{ Група} = 61,2 \text{ кВт} / \text{год}$	52 кВт / год
Сервіс Машини	$120 \text{ w} * 35 \text{ Група} = 4,2 \text{ кВт} / \text{год}$	3,36 кВт / год
Загальний відсоток енергозбереження	$100\% - (7,424 + 142,5 + 52 + 3,36) / (9,28 + 190 + 61,2 + 4,2) = 22,44\%$	

Таб. 1. Аналіз ефективності енергетичної системи

Активна інтелектуальна енергозберігаюча система спочатку була в дизайн для запобігання людям нехтувати правилами та наказами енергозбереження, встановлені урядом. Після практично компонування інтелектуальна енергозберігаюча Система в будівлі кампусу, згаданої вище, запускаємо система цілих 4 місяці, дані про споживання енергії були показано в таблиці 1. З таблиці ми можемо легко порівняти результати споживання електроенергії, в яких один стан працював без енергозберігаючої системи та інший був із системою. Очевидно було і ін за допомогою інтелектуальної системи енергозбереження ми могли б заощадити 22,44% споживання електроенергії. Експериментальний тепер результати дублюються у всіх інших будівлях, і ми сподіваємось, що ми могли б запропонувати подальші дані про загальну потужність споживання після встановлення бездротового зв'язку мережеві та пов'язані з ними датчики. У цей момент ми принаймні можна було б точно бути впевненим у ефективності розумних енергозберігаюча система.

Висновок до розділу 3

В першому дослідженні перевіряли працездатність ESCHS в WSN. Кластеризація виконувалась з використанням рівномірної кластеризації. Виходячи з результатів моделювання, можна стверджувати, що ESCHS покращує залишкову енергію в WSN порівняно з LEACH та D-LEACH. Алгоритм змодельований для 2000 раундів. З результатів моделювання з використанням 100 вузлів видно, що економія енергії в ESCHS збільшується на 10,80% в порівнянні з LEACH і на 9,14% в порівнянні з D-LEACH. Тому ESCHS збільшує мережеву працездатність. Крім того, в алгоритмі використовувались прості енергетичні моделі, які не цінуються для практичного застосування. В другому дослідженні практично створювали активну інтелектуальну енергозберігаючу систему. В цьому досліді ZigBee використовувався для передачі інформації інтерфейсу даних датчика навколишнього середовища, а Bluetooth прийняли як механізм зв'язку між датчиком модуля та серверного комп'ютера. Побудували гібридну WSN, а

також були побудовані деякі практичні методи енергозбереження іншого середовища для перевірки ефективності системи. В результаті отримане, перевершило сподівання і вчені досягли енергозбереження системи.

Загальний висновок

У першому розділі було проведено аналіз протоколів в безпроводових сенсорних мережах. Було розглянуто ієрархічні протоколи, датацентричні протоколи та протоколи основані на місці розташування. В другому розділі проаналізовано методи енергозбереження в безпроводових сенсорних мережах.

Після проведеного аналізу, стало зрозуміло, що на сьогоднішній день найбільшого поширення набувають методи кластеризації та відбувається вдосконалення енергоефективності сенсорної мережі. В третьому розділі було проведено аналізи сучасних розробок в області сенсорних мереж. Майбутні дослідження щодо WSN будуть спрямовані на максимізацію пропускнуої здатності площі в кластерних бездротових сенсорних мережах, призначених для часової або просторової оцінки випадкових випадків, обліку радіоканалів, шарів протоколів PHY, MAC та NET.

Успіхи бездротових мереж та сенсорної технології відкривають цікаву можливість керувати людською діяльністю в умовах розумного будинку. Діяльність у реальному житті часто складніша, ніж тематичні дослідження як для одиноких, так і для багатьох користувачів. Майбутня робота буде зосереджена на фундаментальній проблемі розпізнавання діяльності декількох користувачів, що використовують мережу датчиків бездротового тіла. Бездротові сенсорні мережі обіцяють забезпечити парадигму розумного спілкування, яка дозволяє створити інтелектуальну мережу, здатну обробляти додатки, що розвиваються з потреб користувачів. В найближчому майбутньому дослідження WSN нададуть великий вплив на наше повсякденне життя. Наприклад, вона створить систему постійного спостереження за фізіологічними сигналами, поки пацієнти перебувають у своїх будинках. Це знизить витрати, пов'язані з моніторингом пацієнтів, та підвищить ефективну експлуатацію фізіологічних даних, і пацієнти отримають доступ до найвищої якості медичної допомоги у власних будинках.

Використана література

1. Коваленко І.Г., Романюк В.А., Діянчук І.М. Метод енергозбереження сенсорної радіомережі спеціального призначення з надлишковою кількістю неоднорідних вузлів при забезпеченні заданих показників

- перекриття зон моніторингу та зв'язності вузлів // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2011. – № 3. – С. 52-64. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.viti.edu.ua/files/rom/2011/6_2011.pdf
2. Коваленко І.Г., Романюк В.А., Діянчук І.М. Аналіз методів енергозбереження в сенсорних радіомережах // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2011. – № 1. – С. 76 – 84. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2011/11_1_2011.pdf
3. Міночкін А.І, Романюк В.А., Жук О.В. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж // Збірник наукових праць № 4. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2007. С. 112 – 119.
4. Коваленко І.Г. Енергозберігаючі методи множинного доступу в безпроводних сенсорних мережах: збірник матеріалів V науково-технічної конференції „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення” / – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2010. С. 141 – 142.
5. Е. А. Пустохайлова, В. Д. Семейкин., Энергоэффективный многопутевой протокол маршрутизации в беспроводной сенсорной сети, основанный на решетке с использованием нечеткого подхода [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnyy-mnogoputevoy-protokol-marshrutizatsii-v-besprovodnoy-sensornoj-seti-osnovannyu-na-reshetke-s-ispolzovaniem?fbclid=IwAR1wNln17mkxbBJI0Dr8HEuxOi2mG31LnrR3JcG0MLGbnzWPaXk8Pj18SVE>
6. Класифікація протоколів маршрутизації у безпроводних сенсорних мережах / О. Кузьмін, О. Мицько, В. Грицак // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2010. - № 672. - С. 267-272. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/7898/1/39.pdf>

7. Chun-Liang Hsu, Sheng-Yuan Yang, Active & Intelligent Energy-Saving System Designed with WSN modules and Efficiency Analysis // IEEE International Computer Symposium (ICS). 2010 . С. 435-440.
8. B. Yahya, J. Ben-Othman, „Towards a classification of energy aware MAC protocols for wireless sensor networks”, „Wireless Communications and Mobile Computing”, 2009, №9, pp 1572 – 1607.
9. K. ArunKumar, J.Karthikeyan, “Wireless Sensor Networks of PEGASIS-Based Communication Protocol Classification in Environmental Monitoring”, “International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)”, Volume-9 Issue-1, 2019, pp 93-97
10. Стрела Т.С. Метод кластеризації у безпроводових сенсорних мережах з використанням нечіткої логіки / Стрела Т.С., Романюк В.А. // Збірник XI науково-практичної конференції. – 2018. – С. 210 – 212. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.viti.edu.ua/files/rom/2018/7_2018.pdf
11. Алексеева І.В., Пашинський Д. М., Класифікація та порівняння протоколів маршрутизації в бездротових сенсорних мережах // Вісник АМУ . 2014. №серія «Техніка» Випуск 2 (8). С. 17-26.
12. Романюк В.А., Коваленко И.Г., Диянчук И.Н. Энергосберегающий метод агрегации данных в сенсорной радиосети с избыточным количеством узлов – 2014”. – К.: ІТС НТУУ „КПІ”, 2014. – С. 406 – 408. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.viti.edu.ua/files/rom/2014/3_2014.pdf
13. Aniji John, Angaha Rajput and Vinoth Babu K, Energy Saving Cluster Head Selection in Wireless Sensor Networks for Internet of Things Applications // IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, 2017, С. 0034-0038.