

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

« ____ » _____ 2021 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-комунікаційні
технології»

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Модифікований метод взаємодії вузлів мережі Інтернету Речей»

Виконав :

студент IV курсу, групи ТІ-72

Карлін Павло Юрійович _____

Керівник:

асистент кафедри ІТМ ІТС,

Курдеча Василь Васильович _____

Рецензент:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові _____

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

Студент _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інформаційно-комунікаційні технології»

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Лариса ГЛОБА

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Карліну Павлу Юрійовичу

1. Тема роботи «Модифікований метод взаємодії вузлів мережі Інтернету Речей», керівник роботи асистент кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж Курдеча Василь Васильович затверджені наказом по університету від «14» квітня 2021 р. № 1007-с.

2. Термін подання студентом роботи 7 червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: використання REST API в мережі інтернету речей, наукові статті про захист інформації в мережі, та криптографії.

4. Зміст роботи (перелік завдань, які потрібно розробити):

1. Провести аналіз проблем взаємодії вузлів в мережах інтернету речей.
2. Проаналізувати існуючі методи оптимізації взаємодії вузлів та вибрати прототип.
3. Удосконалити метод взаємодії вузлів за рахунок впровадження алгоритму оптимізації адаптивної маршрутизації.
4. Провести імітаційне моделювання та аналітичну оцінку запропонованого рішення.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо):

- Титульний слайд
- Актуальність
- Мета, основні задачі
- Проблеми протоколів взаємодії вузлів в мережі Інтернету речей
- Вибір методу взаємодії як прототипу
- Запропонований метод
- Імітаційне моделювання
- Результати імітаційного моделювання
- Загальні висновки

6. Дата видачі завдання 7 вересня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд проблеми енергоефективності мережі ZigBee	15.10.2020-19.11.2020	виконано
2	Вибір прототипу на основі існуючих рішень оптимізації мережі	20.11.2020-27.12.2020	виконано
3	Огляд та аналіз використання мережевих протоколів динамічної маршрутизації	7.01.2021 – 21.01.2021	виконано
4	Написання наукової статті (ПРІТС-2021).	05.02.2021-13.04.2021	виконано
5	Створення запропонованого методу взаємодії вузлів мережі Інтернету Речей .	09.02.2021 – 16.03.2021	виконано
6	Проведення імітаційного моделювання запропонованого методу.	17.04.2021-30.04.2021	виконано
7	Проведення аналізу запропонованого методу	01.05.2021-12.05.2021	виконано
8	Підготовка тексту диплома	13.05.2021 – 07.06.2021	виконано

Студент

Студент

Керівник

Павло КАРЛІН

Василь КУРДЕЧА

РЕФЕРАТ

Робота містить 54 сторінки, 13 рисунків, 1 таблицю, 9 формул. Було використано 15 джерел.

Актуальність : актуальність дослідження полягає у тому, що з кожним роком збільшується кількість пристроїв підключених до мережі IoT, які передають дані, що споживають велику кількість енергії для існування мереж. Мережі потребують енергію для безперебійної системної роботи та збору даних протягом довгого проміжку часу без заміни акумулятору.

Внаслідок цього існує потреба у модифікації методу взаємодії вузлів великих мереж для поліпшення енергетичної складової та швидкості здобуття даних.

Мета роботи: підвищити рівень якості взаємодії вузлів в мережі інтернету речей. В ході виконання цієї роботи проведено аналіз методів та особливостей взаємодії вузлів

Модифікований метод використовує адаптивну оптимізацію в мережах ZigBee за допомогою методу баласнування енергії.

Ключові слова: інтернет речей, модифікований метод, метод балансування енергії, ZigBee.

ABSTRACT

The work contains 54 pages, 13 figures, 1 table, 9 formulas. 15 sources were used.

Topicality: The relevance of the study is due to the fact that there are a number of attachments connected to the IoT netting, which transmit data, so there is a great amount of energy for the removal of the net. Merezhi will require energy for uninterrupted systemic robots and collecting donations for almost an hour without replacing the battery.

In addition, there is a great demand for the modification of the method of interconnection of great universities for the improvement of energy storage and economy.

The goal of the work : advancing the quality of cooperation between universities in the net of speeches. In the course of the visit of the robotics cycle, an analysis of the methods and peculiarities of the interaction of universities was carried out

Modifications to the method of vikorist adaptive optimization in ZigBee framing for an additional method of balancing energy.

Keywords: Internet of Things, Modification method, Method of balancing energy, ZigBee

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ 7

ВСТУП 8

РОЗДІЛ 1 : АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПРОБЛЕМ ОПТИМІЗАЦІЇ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ 10

1.1 Технології взаємодії вузлів в мережах Інтернету речей 10

1.2 Аналіз та різниця між M2M, IoT та IoE 13

1.3 Оптимізація мережі в IoT 16

1.4 Огляд застосування Zigbee AODV за основу прототипу 19

Висновки 22

РОЗДІЛ 2: МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ВЗАЄМОДІЇ ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ СПЕЦИФІКАЦІЇ ZIGBEE 23

2.1 Огляд маршрутизації в мережах ZigBee 23

2.2 Характеристика Mesh-мережі з використанням протоколу ZigBee 28

2.3 Адаптивна оптимізація маршрутизації та модифікований метод балансування енергії 32

Висновки 45

РОЗДІЛ 3 : ПРОВЕДЕННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ ТА НАДАННЯ АНАЛІТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ 46

3.1 Моделювання адаптивної оптимізації маршрутизації 46

3.2 Аналітична оцінка запропонованого рішення 49

Висновки 51

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ 52

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 53

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AODV	Ad-hoc On-demand Distance Vector
AOMDV	Ad-hoc On-demand Multipath Distance Vector
DAM	Digital Assets Management
IOE	Internet Tf Everything
IOT	Internet Of Things
IIOT	Industrial Internet Of Things
LLN	Language Learning Network
LGPL	Lesser General Public License
M2M	Machine-To-Machine
RREQ	Route REQuest
RREP	Route Reply Packet
RPL	Routing Protocol Low-power
HPR	High Performance Routing
QoS	Quality Of Service
WOT	Web Of Things
WSN	Wireless Sensor Network

ВСТУП

Актуальність: актуальність дослідження полягає у тому, що з кожним роком збільшується кількість пристроїв підключених до мережі IoT, які передають дані, що споживають велику кількість енергії для існування мереж. Мережі потребують енергії для безперебійної системної роботи та збору даних протягом довгого проміжку часу без заміни акумулятору. Внаслідок цього існує потреба у модифікації методу взаємодії вузлів великих мереж для поліпшення енергетичної складової та швидкості здобуття даних.

Мета й завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення рівню енергетичної складової у вузлах мережі інтернету речей за рахунок модифікації адаптивного методу маршрутизації мереж.

Для досягнення мети дослідження було поставлено та вирішено такі основні задачі:

1. Провести аналіз проблем взаємозв'язку вузлів в мережах інтернету речей
2. Проаналізувати існуючі способи оптимізації взаємодії вузлів та вибрати прототип
3. Удосконалити адаптивний метод маршрутизації вузлів за рахунок впровадження методу балансування енергії.
4. Провести імітаційне моделювання та аналітичну оцінку запропонованого рішення

Об'єкт роботи : процес взаємодії вузлів мережі Інтернету Речей

Предмет дослідження: метод оптимізації адаптивної маршрутизації на основі алгоритму балансування енергії.

Теоретичний результат дослідження : Запропонований метод адаптивної оптимізації, оснований на алгоритмі балансування енергії.

Практичний результат роботи : Модуляція адаптивного методу, яка може адаптивно оптимізувати мережі ZigBee для підвищення енергетичної складової систем.

Публікації

1. Карлін П.Ю., Курдеча В.В Модифікований метод взаємодії вузлів мережі інтернету речей // XV Міжнародна Науково-технічна Конференція студентів та аспірантів "Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем-2020"

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПРОБЛЕМ ОПТИМІЗАЦІЇ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

1.1 Технології взаємодії вузлів в мережах Інтернету речей

З появою бездротового зв'язку Інтернет обчислення породили нову парадигму, яка називається Інтернетом речей (IoT), завдяки чому до Інтернету підключено мільярди фізичних пристроїв. Вони підключені до Інтернету за допомогою різних технологій, таких як мобільні технології - 2G / 3G / 4G / LTE / 5G, технології Machine-to-Machine (M2M) з різними варіантами радіозв'язку, такими як Bluetooth (IEEE 802.15.1) , Wi-Fi (IEEE 802.11), ZigBee (IEEE 802.15.4).

Ці пристрої залежать від різних критичних характеристик, щоб забезпечити надійний зв'язок для середовища IoT, що охоплює ефективну оптимізацію мережі, архітектуру, протоколи, аспекти безпеки та різні послуги, пов'язані з дискретними типами додатків. Поточна тенденція IoT розглядається як Інтернет майбутнього і містить мільярди різноманітних взаємопов'язаних речей або пристроїв, які використовують сучасні технології, розширюючи межі світу за допомогою віртуальних і фізичних речей [1]. IoT на початковому етапі свого розвитку справив великий вплив на нинішній ринок, що розвивається з його використанням і прогнозуванням додатків на найближчі роки. За оцінками, до 2020 року до Інтернету буде підключено близько 50 мільярдів речей і пристроїв, що розширює можливості для все більшої кількості досліджень і розробок в області Інтернету речей [2]. Інтернет речей дозволяє фізичним пристроям або датчикам виробляти кількісну оцінку, виконувати певне завдання, використовувати хмари для зберігання і автоматично активувати систему оповіщення під час надзвичайної ситуації за допомогою Інтернету в якості базової технології.

Отже, Інтернет речей перетворює існуючі традиційні пристрої, щоб вони працювали більш інтелектуально, використовуючи різні технології, такі як всеосяжні обчислення, штучний інтелект, вбудовані пристрої, різні стандарти і технології зв'язку, різні сервіси додатків і різні стандарти Інтернету. IoT призначений для надання більш інтелектуальних послуг за рахунок взаємозв'язку різних речей і об'єктів.

Для надання розумніших послуг у таких додатках, як «інтелектуальний дім» для дому, майбутня роздрібна послуга SAP, розумне місто, інтелектуальна система моніторингу дорожнього руху та багато іншого вимагає збору даних з різних місць, району та різних типів різноманітних пристроїв. Ці дані надсилаються кінцевому користувачеві або абоненту на вимогу або на попередній основі. Однак відправка цих даних абоненту тягне за собою різні типи мережових проблем. Оскільки більшість пристроїв, що використовуються в IoT, мають обмежену пам'ять і енергоспоживання, дані слід маршрутизувати ефективно, як в стратегії push, так і в режимі pull [3]. Для ефективної доставки даних необхідно враховувати перевантаження і масштабованість в мережі, в іншому випадку відправлені пакети даних не досягають місця призначення ефективно, оскільки дані повинні проходити через безліч переходів, нові пристрої можуть додаватися в мережу в будь-який час непередбачуваним чином. У IoT трафік повинен управлятися децентралізовано, з захопленням додатку, такого як система управління трафіком, де окремі вузли обмінюються інформацією по своєму трафіку, допомагає планувати трафік на основі швидкості передачі даних від кожного джерела, щоб уникнути перевантаження трафіку.

Багато додатків IoT призначені для моніторингу критичних випадків, наприклад, при виявленні пожежі, виявленні диму, моніторингу працездатності будівлі, виявленні вторгнень у прикладні програми, в яких затримка або джиттер в мережі не ідеальні. У цих додатках мережа повинна бути досить надійною, щоб доставляти дані в намічену систему протягом певного часу, а маршрутизація цих даних повинна виконуватися оптимізованим чином.

Оскільки в стратегії багатокаскадної маршрутизації для економії енергії більшість вузлів знаходяться у сплячому режимі, і вузол, розташований ближче до головного вузла, повинен прокидатися для збору та доставки даних у вузол потоку без будь-яких затримок і без шкоди для енергоефективності.

Термін служби мережі можна збільшити, вибравши єдиний оптимальний шлях серед доступних декількох шляхів, вибравши модель лінійного програмування.

Окрім вищезазначених факторів, такі програми, як моніторинг стану здоров'я пацієнтів та інші медичні програми, вимагають надійності доставки даних та безпеки при передачі даних у мережі IoT. Ці вищезазначені фактори кидають виклик ефективному використанню та управлінню ресурсами спектру для додатків IoT, оскільки IoT розглядається як частина майбутнього Інтернету, який охоплює всі види доменів та промислових додатків. Якщо ці мережеві проблеми не будуть вирішені, то дефіцит спектрних ресурсів буде вузьким місцем для подальшого розвитку IoT [4]. Натомість, високий пріоритет слід надавати оптимізації використання мережевих ресурсів мільярдами нових бездротових пристроїв, які в майбутньому будуть підключені до Інтернету, щоб полегшити ефективне використання спектра.

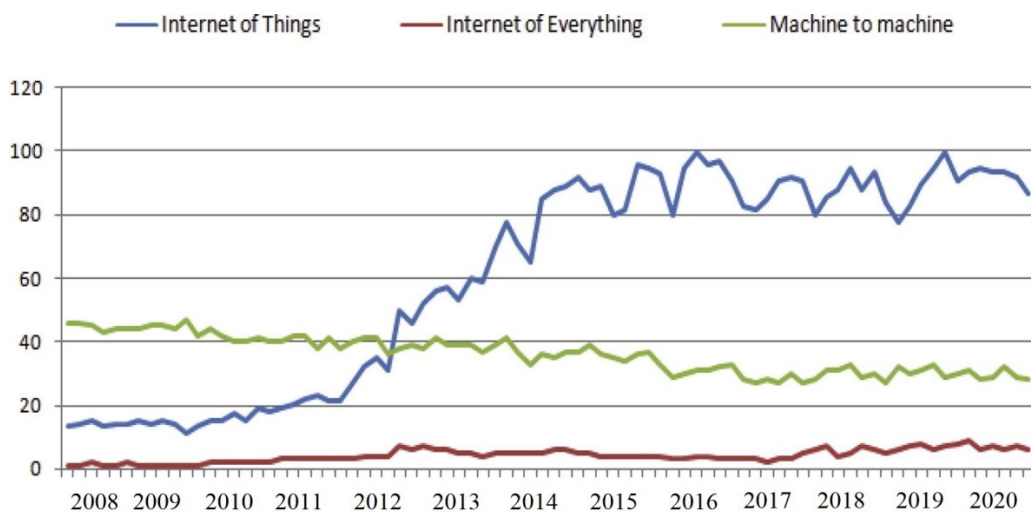


Рис.1.1 Тенденції пошуку в Google з 2008 року по термінам M2M, IoT і IoE.

1.2 Аналіз та різниця між M2M, IoT та IoE

Характеристика M2M, IOT та IOE

M2M, або Machine-to-Machine, є основою складовою підключення пристроїв, яким ми користуємося сьогодні [4]. З'єднання M2M - це з'єднання "точка-точка" між двома мережевими пристроями, яке дозволяє їм передавати інформацію через загальнодоступні мережеві технології, такі як Ethernet та стільникові мережі.

Сенсорна телеметрія є одним із оригінальних застосувань зв'язку M2M. Протягом десятиліть підприємства використовували M2M для дистанційного контролю таких факторів, як температура, споживання енергії, волога, тиск, тощо за допомогою датчиків.

Банкомати пропонують ще один чудовий приклад технології M2M. Внутрішній комп'ютер банкомату постійно взаємодіє з хост-процесором, який направляє транзакції до відповідних банків та рахунків. Потім банки надсилають назад коди затвердження через головний процесор, що дозволяє завершити транзакції.

Цей приклад технології M2M робить те, що вся транзакція відбувається віддалено і без потреби в людському операторі на стороні банку. Машини обмінюються даними плавно, ефективно та автоматично, що дозволяє авторизувати транзакції за лічені секунди. Технологія M2M має багаторічний досвід вдосконалення світової здатності ефективно спілкуватися та виконувати транзакції на великі відстані та в реальному часі.

IoT, або Інтернет речей, - це еволюція M2M, яка збільшує те, чого підключення пристроїв може досягти як на рівні споживача, так і на рівні підприємства. IoT бере основні концепції M2M і розширює їх за рахунок створення великих «хмарних» мереж пристроїв, які взаємодіють між собою за допомогою хмарних мережевих платформ. Технології, що використовуються пристроями IoT, дозволяють користувачам створювати швидкі, гнучкі, високопродуктивні мережі, які підключають широкий спектр пристроїв.

Приклади пристроїв IoT сьогодні є навколо нас. Розумні голосові помічники, такі як Alexa та Google Home, є одними з найбільш гучних прикладів, поряд з величезним набором розумних домашніх пристроїв, до яких вони підключаються. Але ви також знайдете пристрої IoT, що використовуються в корпоративних додатках для таких цілей, як моніторинг температури вантажу, відстеження вантажів та оцінка ефективності роботи співробітників. Будь-яка мережа пристроїв, яка підключена до Інтернету та використовує хмарну платформу для спілкування, може вважатися частиною IoT.

Тож чому програми IoT практично є синонімами хмарних обчислень? Причина в тому, що хмарна архітектура забезпечує значну частину інфраструктури, платформ та програмного забезпечення, яке пристрої IoT використовують для роботи з масштабованими та надійними мережами. В той час як IoT може функціонувати поза хмарою, саме хмара робить його корисним для бізнесу та споживачів.

Концепція IoE виникла як прогрес в області IoT. Це надмножество IoT, яке було введено Cisco для створення нового маркетингового домену. IoE включає в себе більш широкі концепції в області підключення по відношенню до сучасних варіантів доступу до Інтернету. У IoE люди, процеси, дані і речі об'єднані в мережу, щоб перетворити інформацію в дії для створення більш широких можливостей і кращого досвіду.

Основні відмінності M2M , IoT та IoE

По-перше, важливо знати, що IoT сам по собі є підмножиною технології M2M. IoT передбачає спілкування між машинами без участі людини, що робить це за визначенням формою зв'язку M2M.

Масштабованість - одна з ключових відмінностей між M2M і IoT. Інтернет речей розроблений для забезпечення високої масштабованості, оскільки пристрої часто можна додавати в мережу і інтегрувати в існуючі системи з мінімальними зусиллями. Мережі M2M також можуть бути більш трудомісткими в налаштуванні і обслуговуванні, оскільки для кожного

пристрою необхідно створювати нові двоточкові з'єднання. (Подумайте про зусилля, які потрібні для установки нового банкомату, а не для додавання нового інтелектуального пристрою в домашню мережу.) Термін «IoT» також зазвичай відноситься до бездротових пристроїв, тоді як M2M може включати чи не включати бездротовий зв'язок.

Крім трьох вищезгаданих основних технологій, існує ще кілька типів, таких як промисловий Інтернет речей (IIoT), також званий промисловим Інтернетом, який в сукупності об'єднує передову аналітику, інтелектуальні машини і людей. IIoT складається з взаємозв'язаних пристроїв, в яких система збирає, передає, аналізує, відстежує і надає цінну інформацію. Ці ідеї допомагають промисловим компаніям приймати більш розумні і швидкі бізнес-рішення. Транспортна можливість IIoT, яка змушує взаємопов'язані обчислювальні системи і додатки взаємодіяти з фізичним світом, таким чином, змушує Web of Things (WoT) об'єднувати мережеві об'єкти в мережу, роблячи ці ресурси доступними в мережі через стандартну процедуру [5]. Таким чином, IIoT, WoT і Інтернет самі по собі становлять підмножину IoE, як показано на рисунку 1.

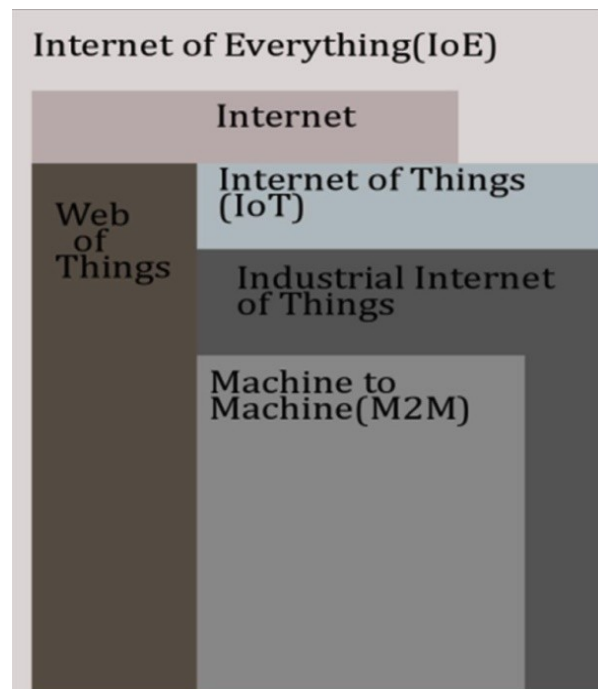


Рис.1.2 Інтернет всього і його підмножини

Таблиця 1.1

Порівняльний аналіз M2M, IOT та IOE

Атрибути	M2M	IoT	IoE
Розмір	M2M - це підмножина IoT	IoT - це підмножина M2M.	IoE- це підмножина IoT.
Ключові компоненти	1.Пристрої, які генерують або отримують дані від інших пристроїв. 2.Зв'язок для ефективної передачі даних між пристроями та шлюзом. 3.Додаток для надання послуг відповідно до вимог кінцевого користувача.	1.Датчики або пристрої для генерації або отримання даних від інших пристроїв. 2.Зв'язок для передачі даних в Інтернет або між пристроями. 3.Послуги зберігання для ефективного зберігання даних в базі даних або в хмарі. 4.Додаток, щоб надати намічену послугу.	1.Люди, як кінцеві вузли, підключені до Інтернету для обміну інформацією 2.Речі - це пристрої, які генерують дані або отримують дані від інших пристроїв. 3.Дані, що використовуються для аналізу і обробки корисної інформації для прийняття механізму прийняття рішень і контролю. 4.Процеси –пристрої, які дозволяють людям, даним і речам працювати разом для створення цінності.
Тип зв'язку	Між пристроями існує зв'язок точка-точка.	IP-мережа існує між пристроями за рахунок інтеграції різних протоколів зв'язку.	IoE - це мережеве з'єднання людей, процесів, даних і речей.
Вимоги до Інтернету	Зв'язок M2M може існувати без Інтернету.	Для пристроїв в IoT в більшості випадків потрібен активний Інтернет.	Пристрої та їх застосування вимагають активного Інтернету.
Проблема інтеграції	Проблема інтеграції обмежена, оскільки M2M використовує відповідний стандарт.	Складність інтеграції вище через використання в її вирішенні іншого стандарту зв'язку.	Більш високий ступінь інтеграції в порівнянні з IoT.

1.3 Оптимізація мережі в IoT

Огляд задачі оптимізації

Зазвичай задача оптимізації складається з вхідних факторів, виходів, обмежень і різних цільових функцій. Завдання оптимізації мережі в IoT

складається з безлічі частин, які будуть об'єднані з використанням різних комбінацій і методів, спрямованих на рішення конкретного типу мережевої проблеми.

Загалом виявлено два важливих методи оптимізації:

1. Застосування відомої системи оптимізації для вирішення проблеми.
2. Планування нової роботи на основі евристичного методу вирішення проблеми.

Вищезазначені підходи не виключають один одного, проте іноді їх комбінують, коли проблема занадто складна або відомі підходи дають невідповідні результати. Евристичний підхід складається з алгоритму, який забезпечує більш швидке наближення для більш складного прикладу задачі, опуклої оптимізації Жадібного підходу, який забезпечує оптимальне рішення, роблячи припущення. Обидва ці підходи забезпечують оптимальне рішення складних проблем, і обидва досягають продуктивності, близької до оптимальної. Отже, не буде єдиного алгоритму, що забезпечує оптимальне вирішення проблеми оптимізації мережі в IoT.

Пристрої IoT можуть додаватися в мережу в будь-який час у великій кількості непередбачуваним чином, тому мережа повинна бути досить надійною, щоб забезпечувати масштабованість, і, крім того, в мережі в будь-який час розміщується кілька окремих додатків, що створює додаткові накладні витрати на трафік в мережі.

Вузли індукують піковий трафік у мережу на невизначений час, коли пристрої IoT передають дані в мережу, коли спостерігаються зміни, і якщо цей трафік відбувається від великих налаштувань, у таких випадках мережа не повинна бути перевантаженою, а ефективна маршрутизація даних повинна відбуватися для зменшення затримки та збереження енергії вузлів.

Оптимізація мережі в IoT привертає до себе підвищену увагу в зв'язку з очікуванням значного збільшення трафіку від речей і об'єктів IoT, оскільки в найближчі роки очікується, що мільярди пристроїв IoT підключать до глобальної мережі. У зв'язку з цим для дослідників і операторів очевидно, що

вони можуть надати ефективне рішення для оптимізації мереж IoT, щоб зменшити генерований IoT трафік, що впливає на інші служби в мережі, і ефективно використовувати мережеві ресурси. Трафік, що генерується пристроями IoT, відрізняється від стільникової мережі через неоднорідність програм та типів пристроїв.

Крім того, необхідно регулювати трафік Інтернету речей, щоб відстежувати роботу пристроїв Інтернету речей і їх сервісів. Додаток IoT генерує менший обсяг даних, однак інтеграція пристроїв з додатком генерує більший обсяг трафіку через повідомлення рівня управління. Отже, цей трафік, не пов'язаний з додатками, створює значне додаткове навантаження на мережу. Таким чином, щоб подолати цей тягар, потрібно ефективний механізм для вирішення і оптимізації обміну повідомленнями рівня управління від пристроїв IoT.

Однією з найважливіших проблем у мережах AODV є проблема вартості енергії в бездротовій мережі є нерівномірність споживання вузлів. Загалом, методи маршрутизації гарантують лише кращу середню продуктивність. Через структуру мережі та розташування вузла деякі пристрої можуть бути надмірно використані (наприклад, вузол у «центрі» мережі частіше отримує дані та приєднується до шляху маршрутизації). Це може призвести до потенційної сегментації мережі та скоротити термін служби всієї мережі.

Сучасні рішення для оптимізації мережі IoT

Існує безліч схем оптимізації мережі, які були запропоновані для оптимальної роботи мереж IoT. На рис. 4 представлена класифікація відповідних робіт, виконаних по кожному аспекту техніки оптимізації мережі, що відноситься до IoT. Результатом цієї нової технології є отримання безпрецедентної кількості даних. Зберігання даних, маршрутизація, повторна передача пакетів, мобільність вузлів, взаємодія між різнорідними вузлами і забезпечення безпеки даних стає критичною проблемою. Сьогодні Інтернет споживає 5% вироблюваної енергії, і згідно з цими прогнозами необхідно, щоб пристрої Інтернету речей були енергоефективними для забезпечення надійного

зв'язку. Для вирішення цієї проблеми в даному розділі представлені докладні цілі брифінгу, сила і обмеження різних робіт, пов'язаних з різними параметрами, такими як мережева маршрутизація, енергозбереження, перевантаження, неоднорідність, масштабованість, надійність, QoS і безпеку, які обговорювалися нижче з метою оптимізації мережі.

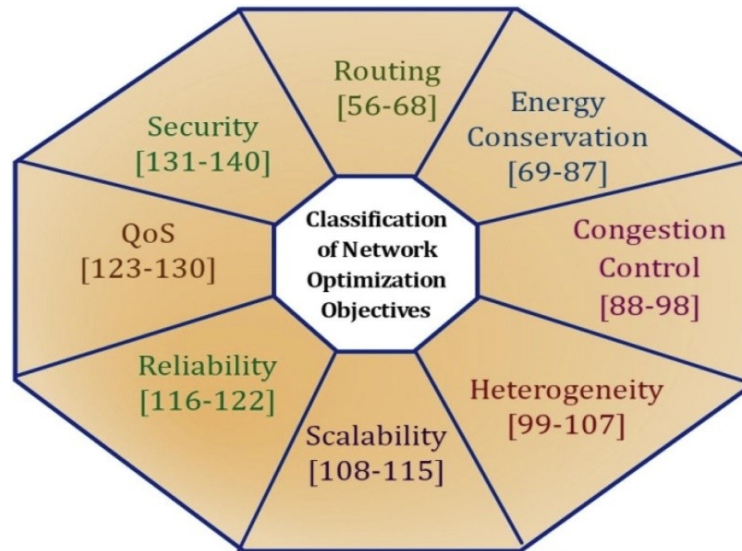


Рис. 1.3. Класифікація цілей оптимізації мережі в IoT.

1.4 Огляд застосування Zigbee AODV за основу прототипу

На основі протоколу IEEE 802.15.4 специфікація ZigBee визначає еталон вищих шарів. У ZigBee визначено три типи пристроїв: маршрутизатори ZC, ZigBee (ZR) та кінцеві пристрої ZigBee (ZED). ZC відповідає за запуск нової мережі. Координатор і маршрутизатори ZigBee здатні здійснювати маршрутизацію, тоді як кінцеві пристрої ZigBee не можуть брати участь у маршрутизації, і для цієї функції їм потрібно покладатися на відповідні маршрутизатори ZigBee parent. Мережевий рівень ZigBee (NWK) забезпечує такі функції, як динамічне формування мережі, адресація, маршрутизація та виявлення одно- сусіди хмелю. Мережеву адресу рекомендується призначати в ієрархічній структурі дерев. Розгорнуті пристрої ZigBee автоматично будують мережу, а потім такі зміни, як приєднання / вихід з пристроїв, автоматично відображаються в конфігурації мережі.

Протокол AODV є протоколом маршрутизації без циклу для мереж Ad-Hoc. Він призначений для автоматичного запуску в середовищі мобільних вузлів, витримуючи різні типи поведінки мережі, такі як мобільність вузлів, збої каналів і втрати пакетів.

На кожному вузлі AODV підтримує таблицю маршрутизації. Запис у таблиці маршрутів для пункту призначення містить три основні поля: наступний вузол стрибка, порядковий номер та кількість стрибків. Усі пакети, призначені для пункту призначення, надсилаються на наступний вузол стрибка. Порядковий номер виступає як форма відмітки часу і є мірою свіжості маршруту. Кількість стрибків представляє поточну відстань до вузла призначення.

У AODV вузли виявляють маршрути в циклах запит-відповідь. Вузол запитує маршрут до місця призначення, розсилаючи повідомлення RREQ всім своїм сусідам. Коли вузол отримує повідомлення RREQ, але не має маршруту до запрошення пункту призначення, він, в свою чергу, передає повідомлення RREQ в широкомовному режимі. Крім того, він запам'ятовує зворотний маршрут до запитувачу вузлу, який може використовуватися для пересилки наступних відповідей на цей RREQ. Цей процес повторюється до тих пір, поки RREQ не досягне вузла, у якого є дійсний маршрут до місця призначення. Цей вузол (який може бути самим адресатом) відповідає повідомленням RREP. Цей RREP є одноадресна по зворотним маршрутами проміжних вузлів, поки не досягне вихідного запитувача вузла. Таким чином, в кінці цього циклу запит-відповідь між запитуючою вузлом і пунктом призначення встановлюється двонаправлений маршрут. Коли вузол втрачає можливість підключення до свого наступного переходу, вузол анулює свій маршрут, відправляючи RERR всіх вузлів, які потенційно отримали його RREP.

Оскільки енергетична вартість передавача в процесі передачі даних є основною вартістю бездротового застосування, ефективність маршрутизації здебільшого визначає потужність та термін служби бездротових мереж. Однак

ZigBee devices мають обмежені можливості обробки, зберігання, живлення та пропускної здатності зв'язку. Вони можуть також рухатися випадково, що призводить до змін топології мережі. Ці обмеження ускладнюють пошук належних механізмів маршрутизації, що забезпечують високу пропускну здатність мережі. ZigBee використовує змішаний механізм маршрутизації в поєднанні з ієрархічним протоколом маршрутизації дерев (HRP) та спеціальним вектором відстані на вимогу ZigBee (Z-AODV) [6]. Тим не менше, поточні протоколи формування та маршрутизації мережі, описані в специфікації ZigBee, погано вирішують питання енергоспоживання. HRP - це активний метод маршрутизації, інформація про маршрутизацію якого встановлюється при розгортанні мережі та залишається незмінною, якщо структура мережі не змінюється. HRP забезпечує просту та надійну топологію бездротових мереж. Кожному вузлу, якщо призначенням кадру даних є нащадок самого себе, він надішле пакет до відповідної дочірньої організації. В іншому випадку він передасть повідомлення своєму батькові. HRP ефективний з точки зору збору маршрутизації та використання пам'яті, але шляхи маршрутизації в HRP завжди неефективні, оскільки кадри даних обмежені у зв'язку батьків-дочірніх. Більше того, беззмінна топологія вимагає від неї перебудови ієрархічної структури при переміщенні вузлів та обмеження її продуктивності в розширенні мережі. Нарешті, через те, що дерево не є динамічно збалансованим, існує можливість того, що певні сценарії встановлення, такі як довгі лінії пристроїв, можуть вичерпати адресну ємність мережі задовго до досягнення реальної ємності

Висновки :

- 1) Проведено огляд технологій взаємодії вузлів мережі інтернету речей. Проведений огляд допоміг визначити проблеми, які присутні в мережі інтернету речей, зокрема проблему оптимізації мережі ZigBee.
- 2) Проаналізовано основні поняття та концепції Інтернету Речей. Проведено порівняльний аналіз трьох основних понять в мережі Інтернету Речей та основні концепції сучасних типів з'єднання вузлів.
- 3) Розглянуто поняття оптимізації в мережах ІОТ та сучасні рішення для оптимізації мережі ІоТ
- 4) Проведено детальний огляд обраного методу як прототипу.

РОЗДІЛ 2

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ВЗАЄМОДІЇ ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ СПЕЦИФІКАЦІЇ ZIGBEE

2.1 Огляд маршрутизації в мережах ZigBee

Мережева маршрутизація

Маршрутизація - це процес вибору шляху для відправки даних по одній або декількох мереж. Ці дані генеруються M2M або машиною для зв'язку з об'єктом. Ці згенеровані дані повинні бути Маршрутизований по найкоротшому або оптимальному шляху для досягнення пункту призначення. Процес збереження інформації про маршрути для доставки даних поділяється на три типи:

1. Реактивний: цей протокол створює маршрути тільки тоді, коли джерело хоче відправити дані в пункт призначення, тому він також відомий як протокол маршрутизації на вимогу.
2. Попереджувачий: цей протокол підтримує таблицю маршрутизації, яка періодично оновлюється на основі свіжого списку адресатів, тому він відомий як протокол, керований таблицями.
3. Гібрид: цей протокол являє собою комбінацію протоколів реактивної і упереджувачей маршрутизації.

Для доставки даних від джерела до місця призначення використовуються різні методи, наприклад автори в [7] пересилання для полегшення під LGPL в LLN для відкриття послуг в інтелектуальних об'єктах. Цей протокол використовує метод локальної лавинної розсилки для пристроїв з робочим циклом, що використовують LLN з RPL, допомагає пристроям з обмеженим обсягом пам'яті використовувати багатоадресну розсилку. Цей метод дозволяє уникнути прямих петель за допомогою фільтрів Блума для виявлення повторюваних пакетів і запобігання петель.

У [8] запропоновано контент-орієнтовану маршрутизацію (CCR), де контент визначає маршрутизацію. Цей метод направляє корельовані дані для досягнення високої швидкості агрегації даних для зменшення мережевого трафіку. Завдяки цьому методу можна домогтися зменшення затримки в мережі і усунення надлишкових даних. Нарешті, цей метод відповідає за оптимізацію енергоспоживання, скорочення затримки в мережі і забезпечення більш високої надійності мережі. Останні програми IoT повинні забезпечувати надійний збір мобільних даних по протоколах RPL / 6LoWPAN з меншою затримкою, втратою пакетів і накладними витратами. Щоб забезпечити цю вимогу автори [9], запропонували попереджувачий механізм передачі обслуговування з RPL, який має зворотну сумісність і продуктивність. Цей метод показав ефективне скорочення втрат пакетів, затримки і поліпшену швидкість доставки пакетів (PDR) в мобільному сценарії.

Автори у [10] покращений ad-hoc on-demand multipath distance vector (AOMDV) для IoT, який динамічно вибирає стабільний інтернет-шлях, регулярно оновлюючи таблицю, що стосується інтернет-з'єднання. Цей протокол вимагає додаткових двох пакетів маршрутизації, але знижує наскрізну затримку, втрату пакетів і частоту виявлення.

Енергоспоживання і розряд батареї вузла ZigBee через активність передачі і прийому є основною проблемою в мережі ZigBee, і оскільки термін служби мережі залежить в основному від часу роботи від батареї, багато дослідників вивчали і аналізували процедури і методи, які можуть підтримувати довговічність мережі ZigBee на протязі всієї розробки. протоколів маршрутизації для різних типів мережевих топологій. Для топології комірчастої мережі ZigBee не вистачає процесу виявлення і обслуговування маршрутів, що призводить до скорочення терміну служби мережі ZigBee на батарейках. Ці акумулятори з коротким терміном служби впливають на можливість підключення до мережі під час передачі, що призводить до поділу мережі, збоїв в дорозі і затримок.

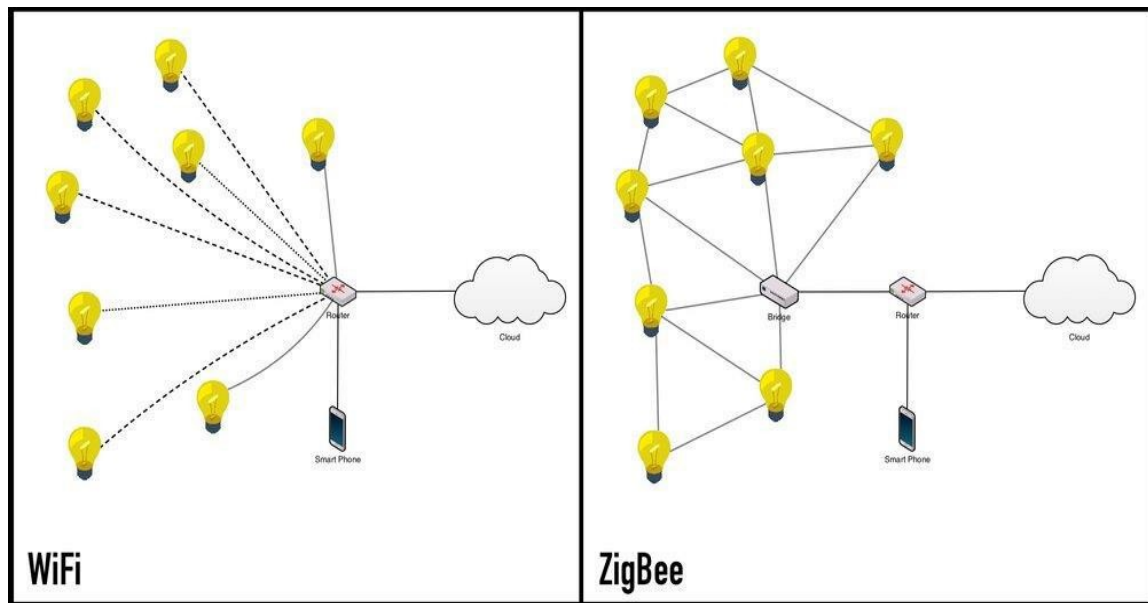


Рис.2.1 Архітектурне порівняння двох систем передачі даних із мережевими компонентами

Дослідження у даній бакалаврській роботі спрямовано на оптимізацію формул спаду напруги батареї, які аналізують характеристики і поведінку батареї вузла ZigBee. Щоб визначити найкраще розташування координатора для продуктивності маршрутизації існує потреба запропонувати новий чутливий до енергоспоживання оптимізований алгоритм маршрутизації для бездротових Mesh мереж ZigBee і оцінити його продуктивність, а також оптимізувати його в більшій мірі.

Аналіз Параметри, які можна оптимізувати для підвищення продуктивності комірчастої мережі Zigbee:

- Відстані між координатором і всіма вузлами комірчастої мережі.
- Кількість оточених маршрутизаторів для координатора, які можуть вижити в процесі маршрутизації.
- Відповідне розташування координатора для акумуляторів на весь термін служби шляхом аналізу спаду напруги акумуляторів в комірчастої мережі.
- Вплив розташування координатора на процес AODV і PS-AODV, які генерують зв'язок з меншим енергоспоживанням і мають

найкоротший шлях до розширення, що призводить до меншої затримки в запиті маршруту і оптимізації маршруту.

Топологія сітки найкраще підходить для протоколу маршрутизації AODV, який є реактивним протоколом, що базується на пункті призначення. Назва вимагає від своєї природи на вимогу, що маршрут створюється лише тоді, коли це потрібно, який використовує процес реактивного виявлення для маршрутизації даних через мережі, це означає, що немає участі вузлів до тих пір, поки він не візьме участь у процесі маршруту виявлення, а зв'язок буде видалений після маршрутизації, проміжні вузли потрібно зберігати лише до тих пір, поки дані не досягнуть місця призначення [11]. Зв'язок з одним стрибком буде автоматично оновлюватися через обмін повідомленнями сусідніх таблиць, що передбачає симетричні зв'язки між сусідніми вузлами, тобто посилення мають однакові властивості в обох напрямках [12]. Процес виявлення протоколу маршрутизації AODV використовується для підтримки посилення, які використовують різні повідомлення маршрутизації.

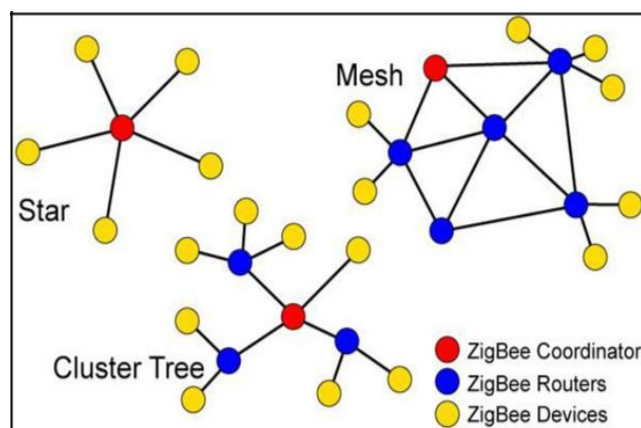


Рис 2.2. Різні типи топологій Zigbee, тоді як сітчаста мережа Zigbee представлена у верхньому правому куті

Більшість запропонованих алгоритмів концентруються на пороговому рівні потужності вузлів, так як нижче цього рівня функціональність вузла буде різко знижена, а відправлені пакети виявлення споживатимуть потужність вузлів; Таблиця сусідів повинна відігравати важливу роль в цьому процесі,

тому що інформація про мертві вузли повинна бути видалена з таблиці, таким чином маршрути не будуть генеруватися усередині цих мертвих вузлів .

Недоліки протоколів маршрутизації

Через те, що протокол маршрутизації AODV використовується на вимогу, існує кілька проблем, пов'язаних з високими витратами маршрутизації і великим відкиданням пакетів. Крім того, проблема енергоспоживання є однією з основних проблем, яка в повному обсязі вирішена в специфікації ZigBee для опису протоколу маршрутизації. Однак характер процесів виявлення та обслуговування породжує кілька проблем, які призводять до енергоспоживання вузлів, що впливає на термін служби мережі. Очевидно, що обраний найкоротший маршрут, який забезпечувався б виявленням і обслуговуванням протоколу маршрутизації AODV, може ефективно зменшити затримку передачі, але з невеликими накладними витратами.

Наступні фактори сприяють нестачі протоколу маршрутизації AODV під час встановлення маршруту до місця призначення:

- Недостатня метрика: Перевага числа переходів в якості метрики для маршрутів AODV і ігнорування інших важливих показників.
- Дубльовані повідомлення: Іноді проміжні повідомлення необхідно пересилати знову, що сприяє лавинної розсилки і збільшує затримку передачі і споживання енергії батареєю вузла.
- Висока затримка виявлення маршруту: Процес виявлення маршруту може зайняти більше часу, коли вузли відправляють повідомлення випадковим чином, в результаті потрібен період очікування до настройки другого шляху; отже, будуть виникати більш тривалі затримки маршрутизації AODV.

2.2 Характеристика і параметри Mesh-мережі з використанням протоколу ZigBee

В даний час широко використовуються бездротові мережі MESH, включаючи надання зв'язку для фіксованої та тимчасової інфраструктури. Прикладами тимчасової інфраструктури можуть бути великі урочистості, спортивні заходи, конгреси, організовані на великій території, або забезпечення зв'язку в кризових ситуаціях. Прекрасними прикладами постійної інфраструктури є парки і університетські містечка. У цих місцях не завжди можливо створити логічну інфраструктуру (наприклад, охорону пам'ятників і дикої природи), або витрати на стаціонарну інфраструктуру занадто високі.

Мережа MESH складається з точок доступу, які взаємодіють одна з одною, створюючи певну форму самоорганізації. У цій системі вузли MESH виконують роль агентів, збираючи інформацію з-поміж себе. Мережа MESH порівнянна з соціальною моделлю багатоагентної системи. Роль вузлів, відомих як портал MESH, полягає в тому, щоб бути шлюзом між провідною і бездротовою мережею. У даній мережевій інфраструктурі може бути багато порталів MESH. Таким чином підвищується надійність і можуть бути передбачені додаткові механізми балансування навантаження. Однак вузли, відомі як точка MESH, забезпечують збереження бездротового шляху між вузлами MESH. Крім того, вони можуть забезпечити доступ до мережі для кінцевих користувачів бездротової мережі. Звичайно, як саме працює цей тип мережі, описано в стандарті 802.11s, а також в численних публікаціях. Протоколи маршрутизації грають важливу роль в комп'ютерних мережах всіх типів. Одним з варіантів взаємодії вузлів є протокол ZigBee. Ключовим компонентом протоколу Zigbee є можливість підтримувати мережеві мережі. У сітчастій мережі вузли взаємопов'язані з іншими вузлами так, що кожен вузол з'єднує кілька шляхів. Зв'язки між вузлами динамічно оновлюються та оптимізуються за допомогою складної вбудованої таблиці маршрутизації сіток.

Mesh-мережі мають децентралізований характер; кожен вузол здатний самостійно знаходитись у мережі. Крім того, коли вузли залишають мережу, топологія сітки дозволяє вузлам переконфігурувати шляхи маршрутизації на основі нової структури мережі. Характеристики топології сітки та спеціальної маршрутизації забезпечують більшу стабільність у мінливих умовах або відмовах окремих вузлів.

Індикація якості посилення

Пристрої ZigBee підтримують функцію тестування вимірювання індикації якості (LQI) кожного разу, коли вони отримують пакети даних. Вимірювання LQI є характеристикою міцності та / або якості прийнятого пакета. Вимірювання може бути здійснено за допомогою визначення енергії приймача (ED), оцінки відношення сигнал / шум або поєднання цих методів. Використання результату LQI мережевим або прикладним рівнями не зазначене у стандарті IEEE 802.15.4. Вимірювання LQI повинно виконуватися для кожного отриманого пакета, а результат повідомляти підшару MAC. Мінімальні та максимальні значення LQI (0x00 та 0xff) повинні бути пов'язані з найнижчими та найвищими сигналами IEEE 802.15.4, що виявляються там приймачем, а значення якості зв'язку (LQ) між ними рівномірно розподілені між цими двома межами. Інформацію LQI кожного одержуваного пакету можна просто отримати відповідно до стандарту, не вимагаючи додаткового обчислення та зв'язку

Розподіл адрес та HRP

У специфікації ZigBee рекомендується використовувати механізм розподілу адрес (DAM) для присвоєння адреси, щоб сформувати деревоподібну структуру. Параметр C_m представляє найбільшу кількість дочірніх вузлів, R_m означає кількість дочірніх вузлів, які можуть бути маршрутизатором, а L_m визначає максимальну глибину в мережі. А для тієї ж мережі різні вузли зазвичай мають постійні C_m і R_m . Кожен потенційний батько забезпечений кінцевим підблоком адресного простору, який використовується для призначення мережевих адрес для своїх дітей. Враховуючи C_m , L_m і R_m , ми

можемо обчислити функцію $Cskip(d)$ як розмір підблоку адрес, розподіленого кожним батьком на глибині d , як у (2.1)

$$Cskip(d) = \begin{cases} 0, & Rm = 0, \\ 1 + Cm \times (Lm - d - 1), & Rm = 1, \\ (1 + Cm - Rm - Cm \times R^{Lm-d-1}) / (1 - Rm), & Rm > 1. \end{cases} \quad (2.1)$$

Адреси мережі $Ad + 1, rn$ та $Ad + 1, el$ повинні призначатися n -му дочірньому маршрутизатору та l th дочірньому пристрою кінцевого пристрою на глибині $d + 1$ послідовно відповідно, як показано в (2.2):

$$\begin{aligned} A_{d+1, rn} &= A_{parent} + Cskip(d) \cdot (n-1) + 1 \\ A_{d+1, el} &= A_{parent} + Cskip(d) \cdot Rm + l, \end{aligned} \quad (2.2)$$

де батько представляє адресу батьків і $1 \leq n \leq Rm$. У цій деревній структурі фігури, якщо адреса призначення знаходиться в адресному просторі, яким керує вузол, вузол пересилає пакет до одного з його дочірніх вузлів. В іншому випадку він перенаправляє пакет своєму батьківському.

Технології ZigBee спочатку розроблялися для створення надійних розподілених мереж датчиків і керуючих пристроїв з невисокими швидкостями передачі даних. У цих технологіях реалізована підтримка мережевої топології «mesh», сплячих і мобільних вузлів, а також вузлів, які забезпечують роботу алгоритмів ретрансляції і самовідновлення. У таблиці вказана швидкість 250 кбіт / с - це максимальна пропускна здатність мережі. Корисна швидкість буде близько 30-40 кбіт / с в межах сусідніх вузлів і 5-25 кбіт / с при використанні ретрансляції.

Проте, обізнаність про споживану потужність і, отже, довговічність мережі є складним завданням при проектуванні WSN, де споживання енергії і надійність інтенсивно вивчаються дослідниками; вони використовували різні типи мережевих топологій і протоколів маршрутизації, в яких більшість вузлів в WSN слідує протоколам маршрутизації ZigBee через високого рівня зв'язку,

який розроблений для низького енергоспоживання, що самоорганізується і великомасштабної мережі.

Алгоритм виявлення маршруту для оптимізації мережі ZigBee.

На рисунку 9 зображений алгоритм для використання обмеженої енергії з метою продовження терміну служби мереж ZigBee.. Ця класифікація буде підтримувати процеси виявлення маршруту для підрахунку загального енергоспоживання шляху.

В іншому наборі протоколів маршрутизації проблема полягала в тому, щоб зменшити проблеми в алгоритмі маршрутизації дерева ZigBee, де деякі з вузлів використовують велику кількість енергії в процесі використання таблиці сусідів, глибина вузла і залишкова енергія будуть враховуватися, щоб уникнути вибору вузлів. Таким чином, граничне значення потужності буде зберігатися і підтримуватися в таблицях координатора ZigBee, процедура призводить до надмірного обміну даними і уникає вичерпання деяких вузлів. Було запропоновано споживання енергії для маршрутизації по дереву ZigBee (ZTR), яке слід деревовидної топології для передачі і використовує інформацію таблиці сусідів з одним переходом.

поточний канал. Перший є наслідком деревної структури. Тим не менше, останнє можна подолати для кращої продуктивності маршрутизації. На цій основі пропонується проста схема балансування енергії в ієрархічній мережі ZigBee. У специфікації ZigBee вузол намагатиметься знайти нові посилення лише тоді, коли поточні тони не змогли, передаючи запит на повторне з'єднання в HRP. У цьому курсі є три дефекти: велике споживання зв'язку та енергії вузла, неоптимальні шляхи, обмежені поточною топологією, та умова обмеження щодо часу ініціалізації. Запропонована схема може спробувати покращити мережу з вищезазначеного, як показано нижче.

Велике споживання зв'язку та енергії

У процесі відновлення місцевий вузол просить усіх своїх сусідів стати новими батьками, і всі сусіди, які можуть прийняти нову дитину, реагуватимуть на запит. Вузол, що запитує, вибере сусіда з найкращою якістю посилення як нового батька. Видно, що вузол разом із усіма його потенційними батьками може надсилати повідомлення під час цього курсу та займати бездротовий канал, і єдиною необхідною інформацією є якість посилень потенційних батьків. Як згадувалося в розділі 3.4, вузол оновлює таблицю сусідів під час отримання даних від сусідів, і значення LQ може бути виміряне будь-яким окремим пакетом. У схемі додано 1-бітний простір у голові кадру NWK, щоб показати, чи може вузол приймати нових дочірніх елементів. Таким чином, всю необхідну інформацію, необхідну для повторного приєднання, можна було отримати для ведення щоденної таблиці сусідів. Коли `nodetries` для оновлення свого батьківсько-дочірнього посилення, йому потрібно лише безпосередньо надіслати запит на приєднання до відповідного вузла-кандидата.

Неоптимальні шляхи, обмежені поточною топологією.

У HRP вузли приєднуються до мережі послідовно, а посилення зберігають інваріант у даних спосіб передавання. Процес приєднання лише вибирає вузол з найкращим LQ, щоб бути очевидним; однак він не може гарантувати, що це також загальний оптимум для всієї мережі.

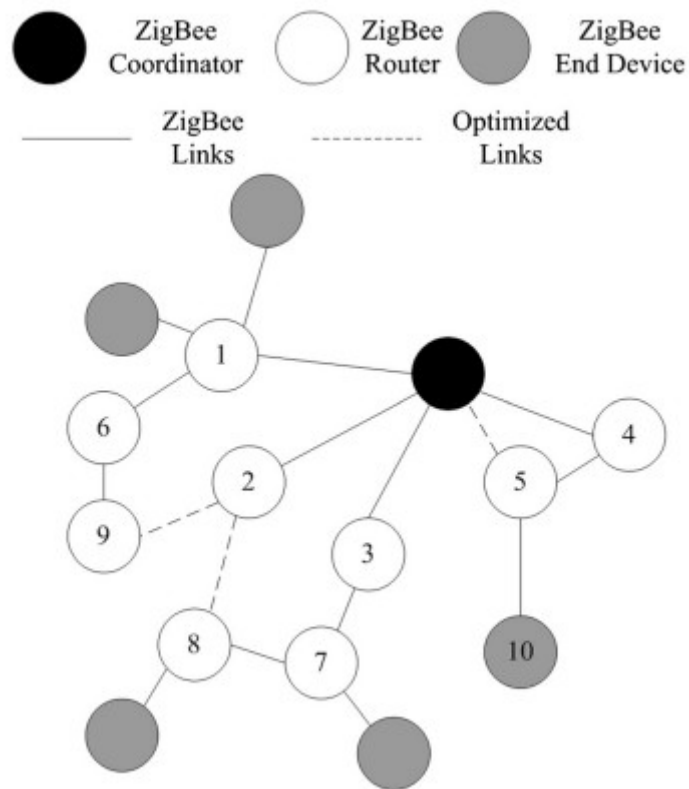


Рис.2.4 Структура топології Mesh-мережі з використанням мережевого протоколу ZigBee

Як показано на рисунку 2.4, вузол 8 є нащадком вузла 7 у вихідній мережі ZigBee. Незважаючи на те, що воно забезпечує кращу якість посилення для свого батька, посилення даних до координатора може мати три групи. Оскільки на кількість стрибків у HRP в основному впливає глибина вихідного та цільового вузлів, вузол вибере свого батька на основі глибини разом з LQ в запропонованому алгоритмі оптимізації маршрутизації. Пріоритет i -го батьківського вузла, PPr_i , обчислюється як у формулі (2.3).

$$\begin{aligned}
 PPr_i &= LQ_i / \max LQ + k(D_i / \max D) \\
 &= \overline{LQ_i} + k\overline{D_i},
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

де LQ_i - значення якості посилення i -го вузла, D_i - його глибина, $\max LQ$ і $\max D$ - максимальні значення, доступні в мережі (0XFF для $\max LQ$ і Lm для $\max D$), а LQ_i та D_i - нормовані значення. k - це попередньо встановлена константа для регулювання ваги LQ і глибини. Вузол вибере кандидата з

максимальним значенням PP_i , який буде його батьківським. Згідно з вищезазначеним принципом, node8 був дочірнім елементом вузла 2 у нашому методі, і це покращило глобальну продуктивність маршрутизації, оскільки передача даних від нього до ZC потребує лише двох стрибків. чотири в мережі, показані на малюнку 1. Коли вузол 5 намагався приєднатися до мережі, ZC вже мав чотири дочірніх маршрутизатора, тому вузол 5 не може бути дочірнім для ZC.

Це пов'язано з тим, що ієрархічна топологія ZigBee намагається уникнути зайвого спілкування, спричиненого технічним обслуговуванням мережі, і вона не може змінити існуюче посилення. Однак, завдяки механізму передачі даних у HRP, деяке поліпшення може бути здійснено з невеликими витратами. У нашій схемі батьківський вузол міг підтримувати та змінювати своїх дочірніх елементів при отриманні запиту на приєднання від інших вузлів або команди з верхнього рівня. Для батьківського вузла глибини d його дочірніми вузлами-кандидатами є всі сусіди, включаючи поточних дітей, глибина яких перевищує d . Батьківський вузол вибере нові дочірні елементи на основі пріоритету i -го дочірнього вузла-кандидата, CPr_i , що показано на рисунку (2.4):

$$\begin{aligned} CPr_i &= LQ_i / \max LQ + \alpha (Nd_i / Cm) \cdots \\ &\cdots + \beta [(LDP_i - D_{parent}) / Lm] \\ &= \overline{LQ}_i + \alpha \overline{Nd}_i + \beta \delta \overline{D}_i, \end{aligned} \quad (2.4)$$

де LQ_i - значення якості посилення i -го вузла, Nd_i - тоді число його нащадків, LDP_i - найнижча глибина інших потенційних батьків для вузла-кандидата і D_{parent} представляє глибину батьківського вузла. LQ_i , Nd_i та δD_i - нормовані значення якості посилення, номер дочірнього номера та різниця між поточним та потенційним батьками відповідно. α і β - дві константи для регулювання ваги кожного доданка. Nd_i вказує на важливість кандидата. Чим більше нащадків у батьків, тим більше вузлів може отримати вигоду з його

нижчої глибини. Це може призвести до зменшення кількості стрибків передачі для всіх вузлів у піддереві, де батьківський вузол є підкоренем.

Кожен маршрутизатор в мережі ZigBee може підсумовувати кількість своїх дочірніх елементів, перевіряючи розподіл адрес, і це значення потрібно транслювати як командний фрейм, коли значення змінюється, щоб сусіди могли оновити свою сусідню таблицю. Що стосується кінцевого пристрою ZigBee, то Ndi дорівнює 1. За вищенаведеним принципом, значення Ndi можна легко розрахувати для кожного вузла. LDPi передбачає глибину батьків кандидата, якщо її відхилить місцевий. Оскільки маршрутизатори можуть повідомляти, чи зможе він прийняти нових дітей у своєму заголовку кадру, як ми змінили у розділі lastub, вузол може знайти найменшу глибину потенційних батьків через записи сусідів. δD і показує важливість батьківського вузла для дитини.

Коли вузол має більшу глибину, якщо він від'єднується від поточного батька, він повинен мати вищий пріоритет, щоб бути зарезервованим. Батьківський вузол міг підтримувати своїх дочірніх груп на основі вищезазначених методів. Пов'язані параметри не можуть всебічно описати топологію, але відображають її на певному рівні, оскільки інформація отримується шляхом оновлення сусідніх систем, і не очікується, що буде введено додаткове спілкування, що суперечить ідеї простоти та низької вартості в специфікації ZigBee. Таким чином, поліпшення може не привести до найкращого варіанту, проте воно є достатньо хорошим і дуже ефективним, враховуючи його вартість. Наприклад, на малюнку 1 вузол 5, безумовно, може бути дочірнім елементом ZC; вузол 8 був потомком вузла 2 у запропонованій схемі, а глибина мережі та навантаження були зменшені.

Умова обмеження щодо часу ініціалізації

Команда повторного приєднання виконується лише тоді, коли вузол визначає, що посилення батьків-дочірніх не вдалося. Він використовується для вирішення роз'єднання для одного вузла і фокусується на зручності використання, але не на поліпшенні продуктивності. У запропонованому методі цей запит може бути частиною засобів оптимізації маршрутизації. Отже, коли

вузол бажає додати своє посилення, він також може ініціалізувати процес повторного приєднання.

Перемикання динамічного шляху Zigbee

Вузол, у якого не було достатньо енергії, буде виключений з сусідніх таблиць для вузлів, потім буде відправлено повідомлення RERR, якщо цей вузол на першому найкоротшому шляху втратить свою енергію і періодичні повідомлення вітання будуть використовуватися для ведення списку сусідів в сусідній таблиці. Шлях повинен обслуговувати менше затримок, а вартість шляху має підтримуватися безперервно за рахунок використання алгоритму Дейкстри за допомогою оновленої таблиці сусідів без явного процесу виявлення маршруту. На рисунку показана блок-схема перемикання шляху при відмові першого шляху і необхідні кроки, необхідні для збільшення терміну служби мережі.

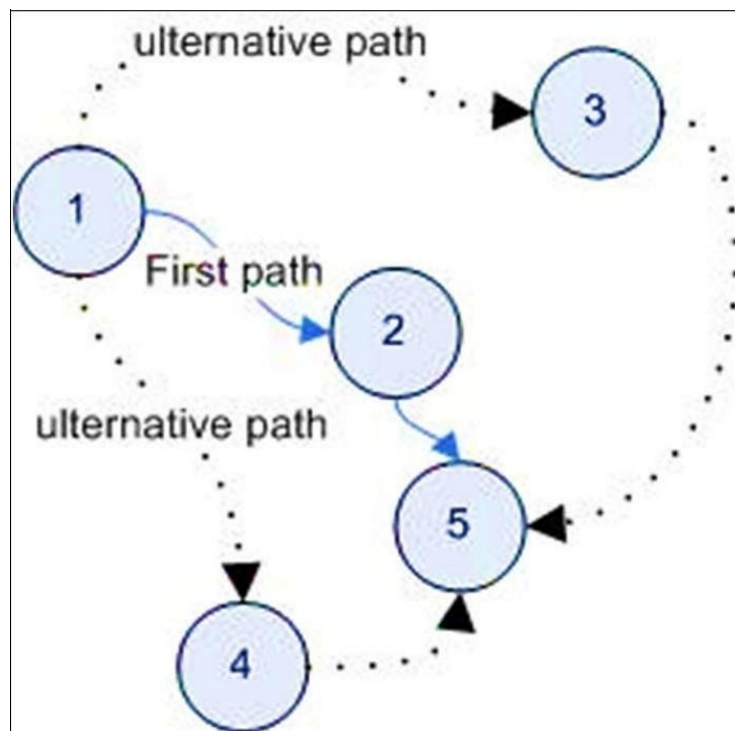


Рис.2.5 Метод перемикання вузлів

Перепризначення адреси

За допомогою механізму в розділі 3.4, мережа могла б оптимізувати топологію в ієрархічній структурі ZigBee. Враховуючи ситуацію у (2.4), C_m , R_m та L_m вважаються відповідно 7, 4 та 4, оскільки координатор має адресу 0, а $C_{skip}(0) = 148$ згідно (1). Якщо вузли від 1 до 4 є дочірніми маршрутизаторами ZC, коли мережа була ініціалізована, їх мережева адреса повинна бути відповідно 1, 149, 297 та 445; адреси вузлів 5 і 10 мають відповідно 446 і 590. Для подальшої оптимізації вузол 5 підставляє 4 як дочірній матеріал ZC маршрутизатора, а адреси 4 і 5 можуть бути перепризначені за допомогою незапрошеної команди повторного з'єднання та повторного з'єднання. Однак, якщо дочірні відносини між вузлами 5 і 10 залишаються незмінними, вузол 10 також повинен змінити свій адрес на 593, оскільки батьківська адреса змінилася. Це перепризначення адреси, безсумнівно, може бути досягнуто командою повторного приєднання, але це може займати більше пропускну здатності. Крім того, топологію підмережі може бути змінено, якщо задіяно більше одного дочірнього пристрою. Враховуючи адресу k -го маршрутизатора на глибині d , згідно (2.5), їх можна представити як

$$A_{k,d} = A_{parent} + C_{skip}(d-1) \cdot (k-1) + 1 \quad (2.5)$$

A_{parent} - це адреса його батька, який також є маршрутизатором. І загальним предком усіх пристроїв у мережі є ZC, адреса та глибина якого дорівнюють 0. Отже, (2.5) можна індукувати рекурсивно як

$$\begin{aligned}
A_{k,d} &= Cskip(0) \cdot (k_0-1) + Cskip(1) \cdot (k_1-1) + \dots \\
&\quad + Cskip(d-1) \cdot (k_{d-1}-1) + d \\
&= [Cskip(0), Cskip(1), \dots, Cskip(d-1)] \\
&\quad \times [(k_0-1), (k_1-1), \dots, (k_{d-1}-1)]^T + d \\
&= Cskip \cdot K + d
\end{aligned} \tag{2.6}$$

Де $Cskip$ - це $1 \times d$ масив під-адресного простору, яким керує батько в кожній глибині; це можна розрахувати, оскільки Cm , Rm і Lm постійні в мережі. Це масив $d \times 1$, який передбачає ієрархічну структуру та визначає мережеву адресу; ми називаємо це адресним коефіцієнтом масиву. Для даного пристрою з адресою A_x кожен коефіцієнт k_i в глибину i можна обчислити за формулою:

$$k_i = (A_x - A_{parent,i}) \bmod(Cskip(i)) + 1, \tag{2.7}$$

Де A_{parent} , i є батьківською адресою в глибині i . Коли маршрутизатор глибиною p , R_p , прагне змінити свою мережеву адресу (шляхом повторного приєднання або перепризначення адреси) в адаптивній оптимізації маршрутизації на свій маршрутизатор-нащадок глибиною q ($p < q$), R_q , припускаючи, що початковою адресою R_q є A_q , а відповідним масивом коефіцієнтів адреси є K , оптимізованою адресою є A_q' , масивом адресних коефіцієнтів є K' . K може бути представлений як $[K_{parent}, K_p, K_{child}]$, а $K' \in [K_{parent}', K_p', K_{child}']$. K_{parent} визначається батьківською адресою R_p ; K_p - послідовний номер маршрутизаторів на глибині p , а K_{child} вказує зв'язок на глибині, більший за p . Якщо цей процес викликаний лише присвоєнням адреси R_p , це означає, що структура піддерева від R_p до R_q (R_p є підкоренем) залишається незмінною, порівнюючи два масиви, ми можемо виявити, що $K_{child} = K_{child}'$. Оскільки K_{parent} і K_p можна обчислити за адресою батьківського та новим діапазоном адрес R_p , оптимізовану адресу A_q' можна легко отримати. Якщо вузол є

кінцевим пристроєм, j -ий кінцевий пристрій глибиною d , його адреса може бути представлена як

$$\begin{aligned}
 A_{j,d} &= A_{\text{parent}} + C_{\text{skip}}(d-1) \cdot R_m + j \\
 &= [C_{\text{skip}}(0), C_{\text{skip}}(1), \dots, C_{\text{skip}}(d-1)] \\
 &\quad \times [(k_0-1), (k_1-1), \dots, (k_{d-2}-1), R_m]^T + j \\
 &= C_{\text{skip}} \cdot K + j
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Перетворення адреси кінцевого пристрою при оптимізації подібне до перетворення маршрутизатора. Значення K_{child} і j зберігаються незмінними, тоді як K_{parent} і K_p визначаються новим батьком і розподіляється блок адреси. На підставі вищенаведеного методу маршрутизатор може повідомити всіх своїх нащадків про нову адресу на основі DAM, коли власна адреса перепризначено. І діти-вузли не повинні ініціалізувати процес відновлення, щоб отримати нову адресу. Більше того, за допомогою цього методу топологія мережі змінюється як мінімум. Деталі оптимізації для вузлів 4 і 5 на рисунку 2.4 наведені на (2.8). Для наочності всі інші вузли, глибина яких перевищує 1, видаляються, а модересцендентні вузли вузлів 4 і 5 показані.

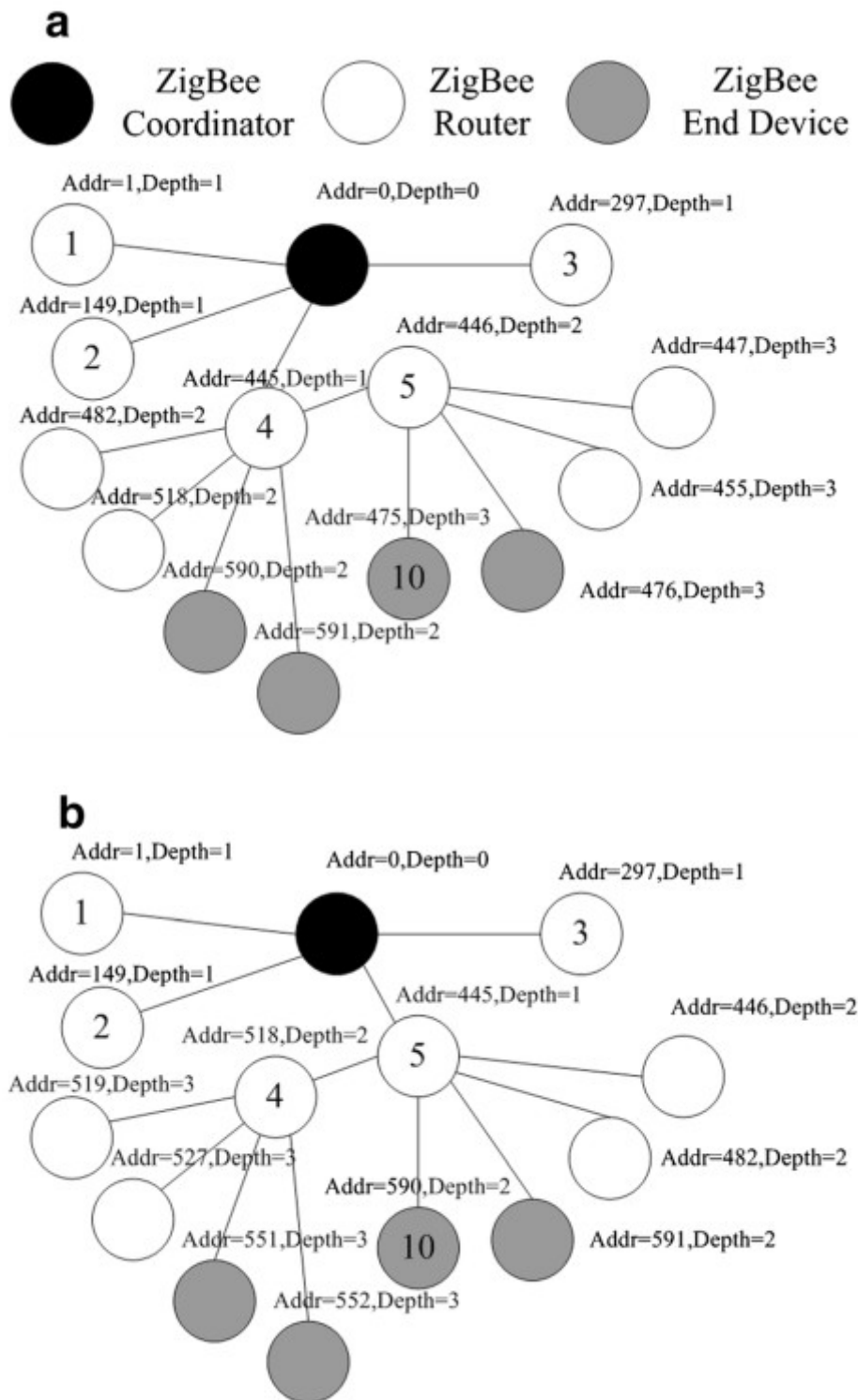


Рис 2.6,2.7. Перепризначення мережі в адаптивній оптимізації маршрутизації за топологією на. (а) Адреса мережі у вихідній ієрархічній структурі. (б) Мережна адреса в оптимізованій ієрархічній структурі

Цей механізм дає багато переваг, але може також створити деякі перешкоди. Двома найважливішими звуками є конфлікт адрес і додатковий зв'язок для оновлення інформації про прив'язку між пристроями та мережевою

адресою. По-перше, ми проаналізуємо конфлікт адрес. Така обставина для вузлів 4 та 5, описана вище, може розглядатися як взаємообмін їх початкових адрес і може спричинити дві серії перепризначення адрес у їх власному піддереві. Через механізм CSMA / CA у фізичному каналі, зміни адреси для всіх пов'язаних вузлів повинні бути послідовними, і це може призвести до конфлікту адрес. Щоб вирішити цю проблему, ми робимо так, що всі пристрої, які беруть участь у процедурі перепризначення адреси, забороняють передачу даних під час цього курсу. Коли вузол отримує відповідну команду від свого батька, він може передавати команду своїм дітям і призупиняти передачу даних, доки відповідь на перепризначення адреси не буде отримана від кожного дочірнього пристрою. Коли пристрій може надсилати пакети знову, йому також потрібно змінити джерело та адресу призначення у фреймі даних на основі нових адрес. По-друге, інформацію про прив'язку між мережевою адресою та пристроями слід оновити після оптимізації. Щоб зменшити трафік у мережі, інформація про оновлення надсилається лише один раз підкореневим пристроєм, і всі інші зміни прив'язки можуть бути розраховані на основі перепризначення адреси.

Опис модифікованого методу оптимізації маршрутизації

Деякі зміни були внесені в ZigBee specification для досягнення обслуговування маршрутизації; вони перераховані як наступні:

- У заголовку фреймів 1 біт використовується для позначення того, чи зможуть вихідний пристрій прийняти вузли нових дітей. У специфікації ZigBee NWK зарезервовано 13-15 біти в полі керування форматом, 13 використовується як прапор.
- Коли вузол намагається повторно приєднатися до мережі, він відправить запит на повторне приєднання і буде чекати відповідей. Якщо він отримує більше одного підтвердження, що повторно приєднується, він вибирає кандидата з найвищим пріоритетом як нового його батька на рівнянні 3.

- Кожен маршрутизатор ZigBee, включаючи ЗС, повинен оголосити кількість своїх дочірніх елементів, коли значення змінюється за допомогою командного кадру стану мережі.
- Кожен маршрутизатор ZigBee, включаючи ЗС, може підтримувати своїх дітей при отриманні запиту на приєднання або повторне приєднання від інших вузлів або команди з верхнього шару.
- В алгоритмі оптимізації адаптивної маршрутизації в сусідніх табличних таблицях потрібні такі умови:
мережева адреса, 64-розрядна адреса IEEE, глибина, якість каналу зв'язку, найменша глибина інших потенційних батьків, тип пристрою, взаємозв'язок для всіх сусідів, можливість прийому нових дітей, кількість його нащадків для маршрутизаторів та ЗС.
- Коли маршрутизатор або ЗС утримує своїх дітей, він може прийняти рішення про придбання нових дітей на основі Рівняння 4; для батьківського вузла в глибині d його вузлами є всі його сусіди, включаючи поточних дітей, глибина яких перевищує d .

У процесі обслуговування, якщо батько вирішить приєднати нову дитину, він надішле незапрошений командний кадр відповіді на повторне приєднання, щоб повідомити дитину нової адреси `andparent`; якщо батько збирається залишити пов'язану дитину, вона одноадресне команду мережевого звіту, щоб оголосити дитину та змусити її знову приєднатися до мережі.

Алгоритм балансування енергії

Енергозбереження та стратегії балансування в бездротовій мережі завжди є міжшаровими методами. Запропонований алгоритм базується на модифікаціях для оптимізації маршрутизації вище. В ієрархічній структурі, припускаючи, що всі тодішні вузли мають однакову ймовірність надсилати (і отримувати) фрейм даних для певного вузла, споживання енергії в зв'язку пов'язане лише із (майже пропорційним) загальній кількості його поточних вузлів. Отже, чим більший депта-вузол, тим менша вартість енергії він має при

передачі даних. Максимальна кількість потомкових вузлів на глибині d , $Dn(d)$, може бути обчислена як (19); з чого можна зробити висновок, що із зменшенням глибини вузла збільшення числа нащадків експоненціально приблизно:

$$Dn(d) = \begin{cases} Rm^{Lm-d} + \frac{Rm^{Lm-d}-1}{Rm-1} (Cm-Rm) & , d < Lm \\ 0 & , d = Lm \end{cases} \quad (2.9)$$

Отже, виходячи з рівня заряду акумулятора (BLk), алгоритм може обмежувати мінімальну глибину ($\min Dk$) як маршрутизатор, коли пристрої низької потужності знову приєднуються до мережі.

Висновки:

- 1) Проведено огляд маршрутизації в мережах ZigBee, зокрема параметри мережі, при оптимізації яких підвищиться працездатність мережі, та недоліки протоколів маршрутизації
- 2) Проаналізовано параметри та характеристики MESH-мереж з використанням протоколу Zigbee. Описано алгоритм виявлення маршруту для оптимізації мережі ZigBee.
- 3) Розглянуто взятого за прототип методу балансування енергії та запропоновано модифікований метод балансування енергії для оптимізації часу роботи мережі.

РОЗДІЛ 3

ПРОВЕДЕННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ ТА НАДАННЯ АНАЛІТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ

3.1 Моделювання методу адаптивної оптимізації маршрутизації

По-перше, були модельовані характеристики різних механізмів маршрутизації в статичній мережі, в яких всі вузли не змінювали своє фізичне положення після розгортання. На рисунку показано, що адаптивна оптимізація маршрутизації може ефективно зменшити середній стрибок доставки даних. У мережах з декількома пристроями три методи однакові; із збільшенням числа вузлів різниці між різними вузлами стають більш очевидними.

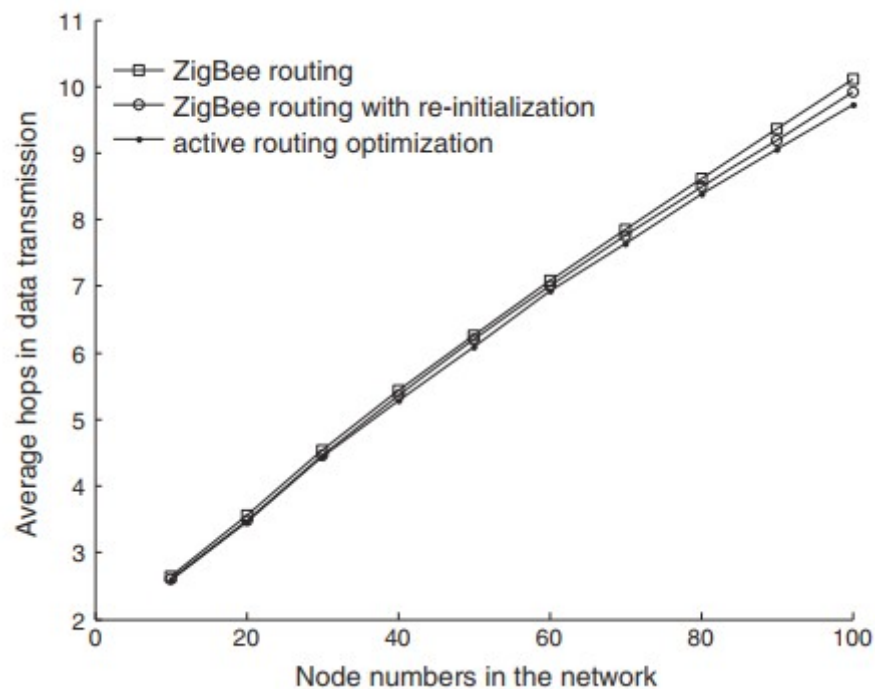


Рис. 3.1 Середні стрибки передачі даних для різних схеми маршрутизації в статичній мережі.

Здається, чим більше кандидатів бере участь в оптимізації, тим кращого вдосконалення може досягти алгоритм. У випадку 100-вузлової мережі середнє число стрибків у маршрутизації ZigBee дорівнює 10,11, тоді як в модифікованому алгоритмі оптимізації адаптивної маршрутизації значення - 9,68; покращення було приблизно на 4,25% кращим, ніж специфікація. З

рисунка ми також можемо виявити, що повторна ініціалізація може також певною мірою зменшити стрибки; крім того, йому не потрібні будь-які зміни в стеку. Це може бути необов'язковою схемою в статичних мережах, однак на практиці пристрої можуть рухатися хаотично. Мережа не могла утримувати статику протягом усього свого життя. Ефективність адаптивної оптимізації маршрутизації в динамічній мережі також була змодельована в цій роботі.

У динамічній мережі вузли в мережі мали ймовірність змінити своє положення, щоб імітувати несподівані перешкоди в реальному додатку. Кожен вузол мав 10% шанс рухатися під час моделювання, і час його переміщення був рівномірно випадковим. Нове положення рухомого вузла слідувало двовимірному нормальному розподілу з центром координат координат з вузлом 5. Крім того, необхідна корекція повторної ініціалізації; ця операція повинна здійснюватися періодично, оскільки топологія мережі змінюватиметься в режимі реального часу. В процесі моделювання мережа може бути скинута через кожні 100 с. На рисунку показано середній стрибок передачі даних для різних схем маршрутизації в динамічній мережі. Можна бачити, що адаптивна оптимізація маршрутизації могла б також зменшити середній стрибок із більшим ефектом. ZigBee routing мав більшість стрибків, оскільки він не зміг змінити свої канали передачі протягом життя мережі. Якщо мережа оновила топологію шляхом повторної ініціалізації, середні стрибки можуть трохи зменшитися. Але оптимізація відбувається не в реальному часі через 100-секундний інтервал операціями.

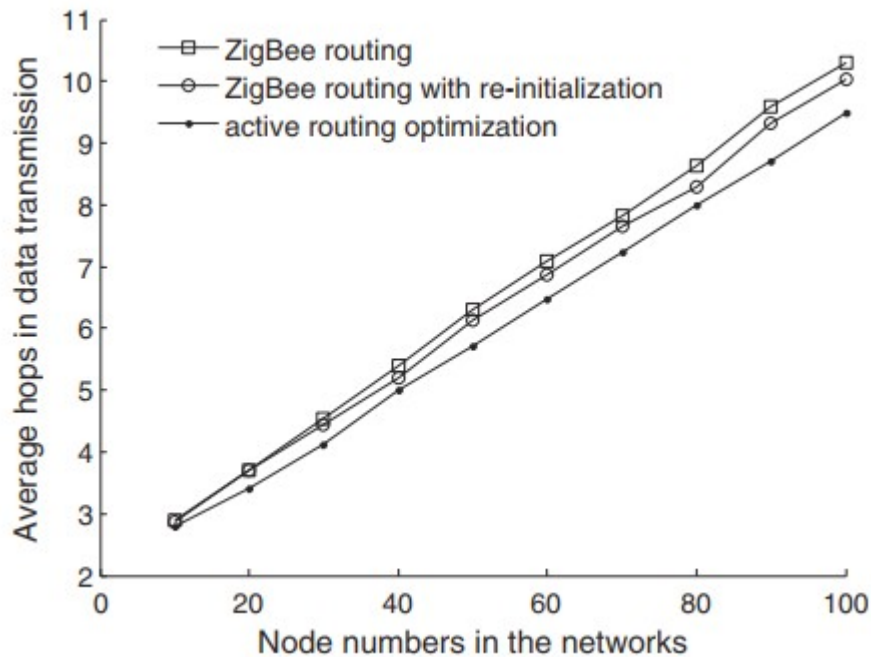


Рис. 3.2 Середні стрибки передачі даних для різних схеми маршрутизації в динамічній мережі.

Більше того, посилання батьків-дочірніх у специфікації original ZigBee вирішувались лише на основі якості посилань; його вдосконалення було обмеженим. Навпаки, адаптивна оптимізація маршрутизації була майже в реальному часі, а інформація в сусідній таблиці враховувалася під час визначення маршрутизації. Отже, він мав найкращі показники в наших моделюваннях. У 100-вузловій мережі середній стрибок може бути покращений з 10,15 до 9,28, приблизно на 8,57%. На підставі описаних вище моделювань можна помітити, що маршрутизація ZigBee з повторною ініціалізацією може також зменшити стрибки передачі без жодних витрат в розробці алгоритму. Однак ініціалізація введе більше трафіку. Оскільки спілкування в мережі може свідчити про ефективність методів маршрутизації, навантаження на мережу для різних методів маршрутизації в системі динамічної мережі проілюстровано на рисунку 5.

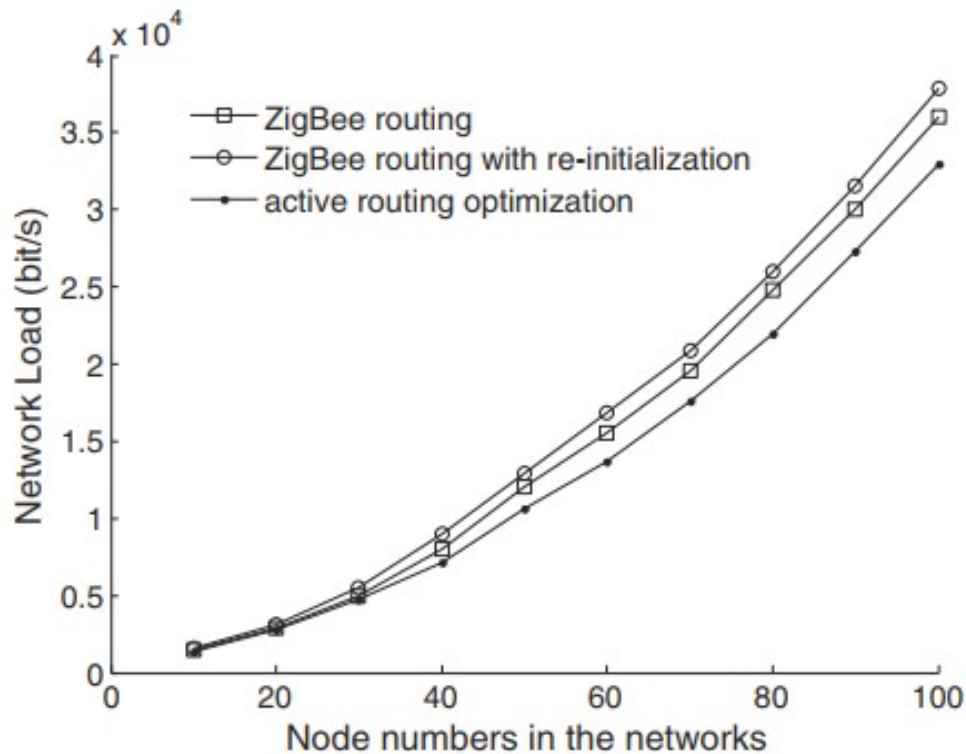


Рис.3.3 Навантаження мережі для різних схем маршрутизації в динамічній мережі

Видно, що ціна повторної ініціалізації величезна; навантаження мережі набагато вище, ніж інші схеми маршрутизації.

3.2 Аналітична оцінка запропонованого рішення

Підсумовуючи все вищесказане, ми можемо зробити висновок, що адаптивна оптимізація маршрутизації покращила ефективність. Ініціалізація мережі може ввести багато зайвих кадрів; таким чином, він мав найгірші показники. Порівняно з оригінальною маршрутизацією ZigBee, запропонований метод міг би підтримувати шлях маршрутизації та використовувати знання в сусідній для глобальної оптимізації; це призвело до найменшого мережевого навантаження з трьох підходів. В адаптивній оптимізації маршрутизації існує три параметри, k , α та β . Ефекти цих аргументів на комунікативні результати також вимірюються та кількісно аналізуються. На рисунку 6 проілюстровано середню кількість передач та середню якість посилок у прийнятих кадрах у мережі із 100 вузлами. Можна бачити, що, як додано квалю, середній стрибок у

передачі даних продовжував зменшуватися; також зменшилось абсолютне значення схилу. Це означає, що вища величина k може принести користь посиленням, але ефект зменшується. З іншого боку, значення a_{high} k також призвело до низької якості зв'язку. І чим більше параметр, тим швидше знижується якість каналу. З рисунка ми можемо виявити, що значення приблизно від 0,3 до 0,8 є прийнятним компромісом для алгоритму. Для параметрів α і β на рис. 7 показано їх вплив на продуктивність зв'язку. Обидва з них мали подібний вплив на середній стрибок та якість зв'язку з такою, що розглядається вище. Чим більший аргумент, тим менше стрибків і гірша якість зв'язку при передачі даних. У міру додавання значень, поліпшення часу повторної передачі поступово знижувалось, тоді як якість каналів погіршувалась все швидше та швидше. Крім того, у порівнянні з рисунком 7а, б, показано, що мережа є більш чутливою до α . Оскільки якість каналу зв'язку тісно пов'язана з частотою помилок у бітах та потужністю передавача, алгоритм віддає перевагу меншим значенням для α та β . Показано, що міра від 0,2 до 0,5 для α та від 0,5 до 0,8 може бути розумним, оскільки в цих діапазонах кількість стрибків швидше падає, а якість посилення ще серйозно не впала.

Висновки:

- 1) Проведено імітаційне моделювання запропонованого методу. Проведено порівняльний аналіз кількості стрибків стандартної специфікації ZigBee та з використанням модифікованого алгоритму оптимізації адаптивної маршрутизації
- 2) Проведено аналітичну оцінку запропонованого рішення та виявлено зменшення середньої кількості стрибків між вузлами, та зменшення значень схилу. Компромісом для наданого оптимізованого алгоритму є значення k варіюється від 0.3 до 0.8 для оптимальної якості зв'язку каналу та відносно прийнятної користі повідомлень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

- 1) Проведено огляд та аналіз проблеми енергостійкості вузлів в мережі інтернету речей, за рахунок яких було обрано напрямок вирішення проблеми оптимізації .
- 2) Проведено аналіз існуючого рішення оптимізації в мережах Інтернету Речей, на основі чого був обраний прототип маршрутизації в MESH-мережах з використанням протоколу ZigBee стандартної специфікації.
- 3) Удосконалення існуючого методу маршрутизації за рахунок модифікації методу оптимізації маршрутизації , що дозволило
- 4) Виконано імітаційне моделювання для модифікованого методу на основі методу балансування енергії, що підтверджує працездатність запропонованого методу. За рахунок моделювання показано, що число стрибків у 100-вузловій мережі зменшується з використанням модифікованого алгоритму оптимізації адаптивної маршрутизації на 8,57%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. S. Li, L. Da Xu, S. Zhao. The internet of things: a survey. *Inf. Syst. Front.*, 17 (2) (2015), с. 243-259
2. L. Atzori, A. Iera, G. Morabito. The internet of things: a survey. *Comput. Networks*, 54 (15) (2010), с. 2787-2805
3. J. Francois, T. Cholez, T. Engel, CCN Traffic optimization for IoT, in *Fourth International Conference on the Network of the Future (NoF)*, 2013, с. 1–5.
4. K.L. Lueth, Why the Internet of Things is Called Internet of Things: Definition, History, Disambiguation. [Електронний ресурс].
Режим доступу до ресурсу: <https://iot-analytics.com/internet-of-things-definition/>.
5. V. Stirbu, Towards a restful plug and play experience in the web of things, in *IEEE International Conference on Semantic Computing*, 2008, с. 512–517.
6. F Cuomo, SD Luna, U Monaco, T Melodia, Routing in ZigBee benefits from exploiting the IEEE 802.15.4 association tree. Paper presented at the *IEEE international conference on communications*, Glasgow, 3271–3276 (2007)
7. M. Antonini, S. Cirani, G. Ferrari, P. Medagliani, M. Picone, L. Veltri, Light weight multicast forwarding for service discovery in low-power IoT networks, in *22nd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, 2014, с. 133–138.
8. Y. Jin, S. Gormus, P. Kulkarni, M. Sooriyabandara Content centric routing in IoT networks and its integration in RPL *Comput. Commun.*, 89 (2016), с. 87-104
9. H. Fotouhi, D. Moreira, M. Alves mRPL: boosting mobility in the internet of things *Ad Hoc Networks*, 26 (2015), с. 17-35

10. Y. Tian, R. Hou, An improved AOMDV routing protocol for internet of things, in International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, 2010, c. 1–4.

11. C. hen, J.-L.; Ma, Y.-W.; Lai, C.-P.; Hu, C.-C.; Huang, Y.-M. Multi-Hop Routing Mechanism for Reliable Sensor Computing. *Sensors*, 9, 10117–10135

12. S. Silva, I.; Guedes, L.A.; Portugal, P.; Vasques, F.

Reliability and Availability Evaluation of Wireless Sensor Networks for Industrial Applications. *Sensors* 2012, 12, 806–838

13. Razouk, W., Sgandurra, D., & Sakurai, K. (2017, October). “A new security middleware architecture based on fog computing and cloud to support IoT constrained devices”. In *Proceedings of the 1st International Conference on Internet of Things and Machine Learning* (p. 35). ACM

14. D. Wyatt, T. Choudhury, and J. Bilmes. 2007. Conversation detection and speaker segmentation in privacy-sensitive situated speech data. In *Interspeech*.

15. Карлін П.Ю МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ВЗАЄМОДІЇ ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ /Павло Юрійович Карлін // ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ / Павло Юрійович Карлін. – Київ, 2021. – С. 362.