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

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.397.63

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
__________ Г.Г. Власюк
(підпис) (ініціали, прізвище)

“___”____________2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 171 «Електроніка»
(код і назва)

на тему: «Особливості застосування мережі безпроводових сенсорів в межах концепції “розумного міста”»

Виконав: студент II курсу, групи ДВ-82мп
(шифр групи)

Загоровський Володимир Назарійович __________
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник професор, д.т.н., проф. Власюк Г.Г. __________
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант доцент, к.т.н. Попович П.В __________
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент ____________________ __________
(посада,науковий ступінь,вчене звання,науковий ступінь,прізвище,ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент ____________
(підпис)

Київ – 2019 року

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

Факультет електроніки

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 171 «Електроніка» («Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей»)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
__________ Г.Г. Власюк
(підпис) (ініціали, прізвище)

«____» __________ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Загоровському Володимиру Назарійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи «Особливості застосування мережі безпроводових сенсорів в межах концепції "розумного міста"»

керівник роботи Власюк Ганна Григорівна, професор, д.т.н..
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « » листопада 2019 р. №

2 Строк подання студентом дисертації 1 грудня 2019 р.

3. Об'єкт дослідження технології безпроводових сенсорних мереж в умовах "розумного міста"

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) вплив параметрів обраної безпроводової технології та протоколу маршрутизації на функціонування мережі стаціонарних та мобільних безпроводових сенсорів в умовах "розумного міста"

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати актуальні стандарти для реалізації безпроводових сенсорних мереж, проаналізувати особливості топології мереж безпроводових сенсорів, дослідити в лабораторному середовищі параметри QoS мережі безпроводових сенсорів на основі обраного стандарту та протоколу маршрутизації

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 12 слайдів презентації:

характеристика роботи, формулювання завдання роботи, загальні характеристики стандартів безпроводових сенсорних мереж, технології маршрутизації в мережах WSN, аналіз та порівняння основних програмних засобів моделювання мереж WSN, аналіз результатів дослідження, рекомендації для покращення параметрів мережі безпроводових сенсорів в умовах “розумного міста”.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1) В.Н. Загоровський. Особливості маршрутизації в безпроводових сенсорних мережах

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2, 3, 4 розділи	Попович П.В, доцент, к.т.н.		

9. Дата видачі завдання 26 вересня 2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу	15.03.2019	
2	Написання другого розділу	19.06.2019	
3	Написання третього розділу	15.10.2019	
4	Написання четвертого розділу	12.11.2019	
	Написання п’ятого розділу	27.11.2019	
5	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	02.12.2019	
6	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	03.12.2019	

Студент ______________ В.Н. Загоровський
(підпис) (ініціали, прізвище)

Керівник роботи ______________ Г.Г. Власюк
(підпис) (ініціали, прізвище)

УДК 621.397.63

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 104 с., 46 рис., 31 табл., 1 дод., 25 джерел

БЕЗПРОВОДОВА СЕНСОРНА МЕРЕЖА, WSN, ZIGBEE, СЕНСОРИ, «РОЗУМНЕ МІСТО», ТОПОЛОГІЯ, MESH, AODV, МАРШРУТИЗАЦІЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, OMNET++, NS-2.

Актуальність роботи. Безпроводові сенсорні мережі є ключовою технологією для отримання інформації про оточуюче середовище. Збір даних у реальному часі за допомогою безпроводових сенсорів є невід’ємною частиною у баченні суті розвитку Інтернету речей.

На сьогоднішній день існує ціла низка стандартів та технологій для реалізації БСМ. Питання вибору найбільш доцільної технології на етапі проектування є вирішальним фактором кінцевої якості функціонування та надійності мережі. Використання спеціалізованих стандартів та технологій дозволяє забезпечити надійність та ефективність роботи мереж безпроводових сенсорів в міських умовах.

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

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *завдання*:

– дослідити концепцію “розумного міста”;

– проаналізувати доступні стандарти та технології WSN;

– дослідити існуючі рішення для моделювання мереж WSN;

– запропонувати технології, що дозволяють ефективно реалізувати мережу безпроводових сенсорів в умовах “розумного міста”;

– експериментально дослідити якісні показники мережі безпроводових сенсорів, отримані за результатами моделювання мережі з використанням обраних технологій.

Об'єкт дослідження – технології безпроводових сенсорних мереж в умовах концепції "розумного міста".

Предмет дослідження – вплив параметрів обраного стандарту та протоколу маршрутизації на функціонування мережі безпроводових сенсорів.

Методи дослідження – порівняльний аналіз технологій WSN, критичний аналіз інструментів моделювання мереж WSN, застосування програмних засобів для моделювання параметрів QoS мережі безпроводових сенсорів.

Наукова новизна одержаних результатів.

Запропоновано використовувати технологію ZigBee та метод маршрутизації AODV для безпроводових сенсорних мереж, що дозволяє збільшити енергоефективність та зменшити затримки в мережі.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами роботи отримано такі результати:

1. Розроблено модель мережі безпроводових статичних та мобільних сенсорів в програмному середовищі OMNeT++;
2. Досліджено параметри QoS, а саме величина затримки, джиттер, кількість втрачених пакетів, для мережі безпроводових статичних та мобільних сенсорів на основі стандарту ZigBee та методу маршрутизації AODV. Значення затримки в мережі не сягають більше 10 секунд, що говорить про ефективність роботи мережі з використанням обраних технологій.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, що включені до дисертації, оприлюднені на III Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем» (2019).

Публікації. Результати досліджень, наведених в дисертації, оприлюднено в таких виданнях:

1. В.Н. Загоровський. Особливості маршрутизації в безпроводових сенсорних мережах / П.В. Попович, В.Н. Загоровський // Матеріали конференції «Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі». – К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - С. 20.

Отримані результати можна використати під час планування, проектування та експлуатації WSN зі статичними та мобільними сенсорами, для оцінювання можливості мережі надавати послуги в межах заданих параметрів якості обслуговування (QoS) у процесі виконання завдань із автоматизації контролю та керування мережею безпроводових сенсорів в мовах "розумного міста".

SUMMARY

Object of this research is wireless sensor network implementation in a “smart city” conditions.

This work is aimed to research QoS parameters of WSN modeled using chosen standard and routing technology. It is proposed to use ZigBee technology and AODV routing algorythm for wireless sensor networks which increases energy efficiency and reduces network delays.

The results of this work can be used in designing and operating static and mobile Wireless Sensor Networks, to evaluate the network's ability to provide services within specified service quality (QoS) parameters in the automation tasks of wireless sensor network monitoring and control in a "smart city" conditions.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БСМ – Безпроводова сенсорна мережа;

AODV – Ad hoc On-Demand Distance Vector (спеціальний дистанційно-векторний протокол динамічної маршрутизації за запитом);

API – Application Programming Interface (інтерфейс програмування додатків);

BSS – Basic Service Set (основний сервісний набір);

DSDV – Destination-Sequenced Distance-Vector (дистанційно-векторний протокол динамічної маршрутизації з послідовним визначенням);

DSR – Dynamic Source Routing (динамічна маршрутизація від джерела);

DTN – Delay & Disruption-Tolerant Networking (толерантна до затримок та перебоїв мережа);

ESS – Extended Service Set (розширений набір послуг);

FHSS – Frequency Hopping Spectrum Spreading (псевдовипадкове перестроювання робочої частоти);

GFSK – Gaussian Frequency Shift Keying (гаусівська частотна маніпуляція);

GSM – Global System for Mobile Communications (глобальна система мобільного зв'язку);

IDE – Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки);

INI – Initialization file (файл ініціалізації);

ISM – industrial, scientific and medical (індустріальна, наукова, медична частина радіочастотного спектру, що може

		використовуватись без ліцензування);
LR-WPAN	–	Low-Rate Wireless Personal Area (низькочастотні безпроводові персональні локальні мережі);
MAC	–	Media Access Control (рівень керування доступом);
MES	–	Manufacturing Execution System (виконавча система виробництва);
NB-IoT	–	Narrow Band Internet of Things (вузькосмуговий інтернет речей);
NED	–	Network Description (опис мережі).
PDR	–	Packet Delivery Ratio (коефіцієнт доставки пакетів);
P2P	–	Peer-to-peer (рівний до рівного);
QoS	–	Quality of Service (якість послуги);
RREP	–	Route Reply packet (пакет маршрутної відповіді);
RREQ	–	Route Request packet (пакет запиту маршруту);
SCN	–	Sensor Control Network (сенсорні системи керування);
SSID	–	Service Set Identifier (найменування сервісного набору);
TCL	–	Tool Command Language (інтерпретована мова програмування);
TORA	–	Temporally Ordered Routing Algorithm (тимчасово впорядкований алгоритм маршрутизації);
UDP	–	User Datagram Protocol (протокол датаграм користувача);
VPN	–	Virtual Private Network (віртуальна приватна мережа);
WECA	–	Wireless Ethernet Compatibility Alliance (альянс сумісності безпроводового обладнання Ethernet);
WEP	–	Wired Equivalent Privacy (проводова еквівалентна приватність);
WPA	–	Wi-Fi Protected Access (захищений доступ Wi-Fi);
WSN	–	Wireless Sensor Network (безпроводова сенсорна мережа);
xDSL	–	Digital Subscriber Line (цифрова лінія підписника).

ВСТУП

Актуальним напрямком розвитку мереж зв’язку сьогодні, беззаперечно, є концепція Інтернету речей. Основна задача Інтернету речей – створення єдиної мережі, яка містить як об’єкти інформаційного (віртуального), так і фізичного (реального) світу і забезпечує взаємодію об’єктів між собою.

Технологічна база розвитку Інтернету речей – всепроникаючі безпроводові сенсорні мережі, які широко використовують в сучасному світі практично у всіх сферах життєдіяльності, що пояснюється їх низькою вартістю, швидкістю розгортання і ефективністю. Безпроводові сенсорні мережі є самоорганізовуваними мережами, що складаються з великої кількості безпроводових сенсорних вузлів, розподілених у просторі і призначених для моніторингу характеристик навколишніх процесів або керування об’єктами, що знаходяться в них.

Потенціал до вдосконалення різних аспектів комунальних послуг, покращення загального рівня життя та зменшення витрат призводить до все більшої необхідності в “розумних містах”. Такі міста об’єднують разом інфраструктуру та технології для покращення життя міських жителів та збільшення рівня їх взаємодії з міським середовищем.

Постає питання, яким чином дані з таких сфер, як громадський транспорт, моніторинг стану навколишнього середовища, виробництво та використання електроенергії тощо можуть бути інтегровані та ефективно використані. Інтернет речей має відповідь – ефективне та всеохоплююче використання безпроводових сенсорів, які з’єднуються з центрами обробки даних за допомогою існуючих стандартів стільникового зв’язку або з використанням технологій WSN.

В даній роботі досліджують актуальні стандарти та технології для реалізації безпроводових сенсорних мереж в умовах “розумного міста”.

1 АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЇ РОЗУМНОГО МІСТА ТА ТЕХНОЛОГІЙ WSN

«Розумне місто» - це міське середовище, що поєднує передові сенсорні, інформаційні та телекомунікаційні технології, які дозволяють ефективно керувати міськими активами. Сюди відносять послуги, пов’язані зі здоров’ям, міським транспортом, економікою, правоохоронною діяльністю, інфраструктурою та інші, тобто такі, що впливають на загальний добробут та бізнес. Сенсорні мережі є необхідною складовою таких міст, адже дані, які вони збирають є основою для надання перелічених вище послуг.

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

1.1 Послуги «розумного міста»

Термін «розумне місто» зазвичай застосовується по відношенню до міст, які активно використовують технології безліччю різноманітних способів, щоб більш ефективно функціонувати і відповідати потребам своїх жителів. Збираючи і опрацьовуючи інформацію в реальному часі, можна використовувати наявні ресурси з більшою продуктивністю і таким чином економити ресурси, діяти більш раціонально і надавати обслуговування вищого рівня.

Такий процес передбачає інтеграцію і координацію міських служб, а також моніторинг їх роботи, режим якої повинен вибудовуватися з урахуванням відповідності попиту на ці послуги та їх доступності. Крім ідеї продуктивності, розумні міста втілюють концепцію сумлінного управління, способу зближення уряду міста з його жителями. Висловлюючи свої побажання і потреби, останні отримують можливість бути почутими.

Замість того, щоб відправляти вантажівки за фіксованим розкладом збирати скло із сміттєвих баків в житлових районах, на центральний комп'ютер буде подаватися сигнал сенсора, який повідомляє, що бак майже повний і його треба спорожнити. Або, припустимо, ви можете перевірити на своєму смартфоні або комп'ютері завантаженість доріг: якщо перед вашим відправленням ви бачите, що на вашому шляху затори, ви можете вибрати альтернативу.

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

Багато міст по всьому світу шукають шляхи використання технологій для поліпшення якості роботи міських служб. Звичайно, у міст в розвинених країнах світу, з розвиненою інфраструктурою є перевага перед країнами, що розвиваються. Однак в менш розвинених місцях навіть невеликі кроки можуть викликати колосальні зміни. Наприклад, виявлення витоків в системі водопостачання та їх усунення в великих і невеликих містах допоможе заощадити величезну кількість води. Раціональне водовикористання допомагає не тільки економити воду, але і більш ефективно використовувати ресурси сервісного обслуговування і ремонту.

Концепція розумних технологій передбачає наявність безлічі сенсорів різних видів: вхідних точок для прийому інформації та її обробки, розвинених систем збору даних, а також спеціалізованого програмного забезпечення для аналітики. На додаток до пасивних сенсорів, розумні міста покладаються також на своїх громадян, які передають інформацію безпосередньо через свої смартфони або інші пристрої.

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

Також, WSN використовують для моніторингу, відслідковування і контролю. Ось деякі приклади застосування WSN:

– моніторинг задимлення і локалізація осередків займання великих лісних масивів і торф’яників;
– сейсмічне знаходження потенційної напруженості;
– військові спостереження;
– акустичний моніторинг руху об’єктів в охоронних системах;
– екологічний моніторинг навколишнього середовища;
– моніторинг промислових процесів, використання в MES системах;
– медичний моніторинг.

1.2 Поняття безпроводових сенсорних мереж

Безпроводові сенсорні мережі - це системи автоматизації та управління, моніторингу та контролю, що активно розвиваються. Взаємодіючи з керуючими пристроями, датчики створюють розподілену, самоорганізовану мережу збору, обробки і передавання інформації. Поняття «самоорганізована мережа» означає систему, в якій пристрої вміють самі знаходити один одного і формувати мережу, а разі виходу з ладу будь-якого з вузлів можуть встановлювати нові маршрути для передавання повідомлень. На рисунку 1.1 зображено загальний вигляд архітектури безпроводової сенсорної мережі.

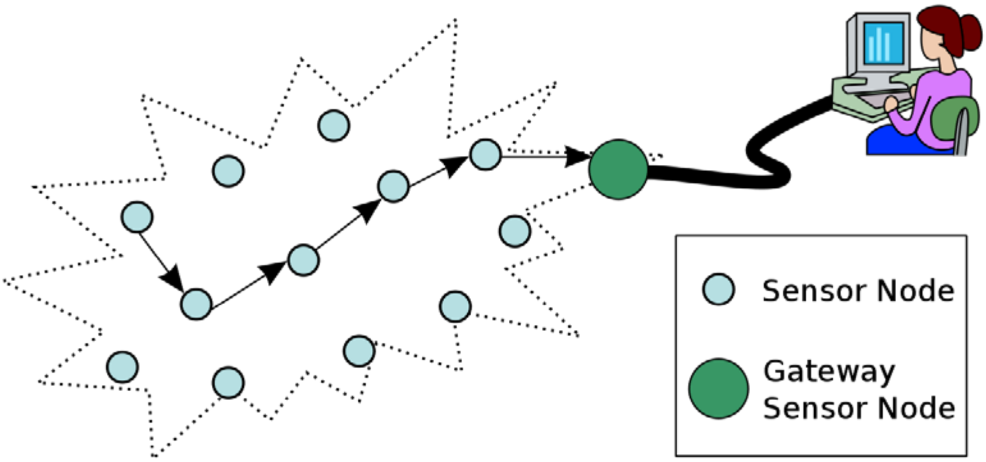


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд архітектури безпроводової сенсорної мережі

Технологія сенсорних мереж не вимагає для побудови мережі дорогих кабелів разом з допоміжним обладнанням (кабельними каналами, шафами і т.д.). А так як сенсорна мережа підтримує основні інтерфейси і протоколи, які застосовуються в даний час, є можливість інтегрувати її в існуючу мережу без проведення масштабної реорганізації.

Мініатюрні і тому не потребуючі значних витрат енергії датчики (термін експлуатації може досягати декілька років) забезпечують можливість їх розміщення в важкодоступних місцях і на великих територіях. Безпроводові рішення незамінні, коли необхідно зв'язати в мережу вузли, що постійно рухаються. Однак недоліком безпроводових рішень є їх менша надійність, як в плані гарантованої доставки даних за обмежений час, так і в захисті переданої інформації від несанкціонованого доступу.

Розробка і введення сенсорних мереж в усі сфери життя надасть величезну кількість переваг людству. Тематика сенсорних безпроводових мереж ще не достатньо вивчена, на даний момент є ряд невирішених проблем і обмежень, але переваги приваблюють компанії для розробки стандартів передавання інформації в сенсорних мережах, наприклад таких, як стандарт ZigBee.

1.3 Топологія та архітектура

Одним з важливих факторів, що впливають на властивості мережі, є її топологія, тобто розташування вузлів відносно один одного в зоні обслуговування [1]. На канальному рівні в стандарті IEEE 802.15.4 [2] наведені загальні рекомендації до побудови топології мережі. Мережі можуть бути одноранговими P2P, або мати топологію «зірка» (рис. 1.2).

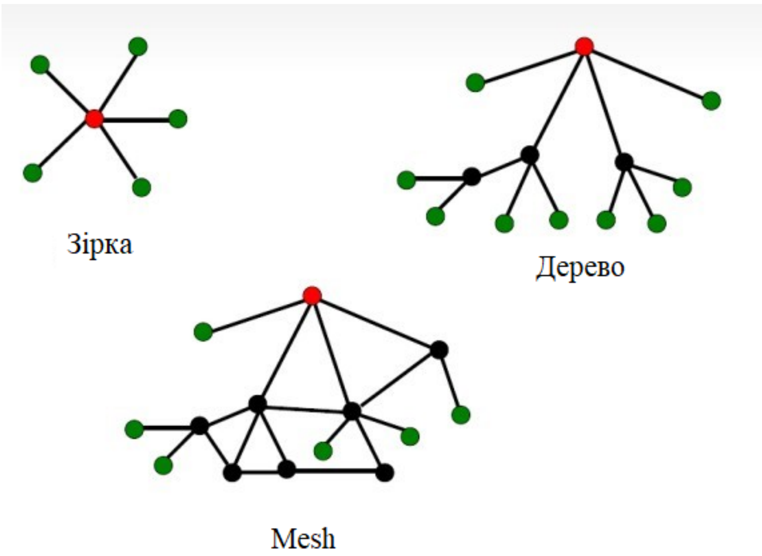


Рисунок 1.2 – Варіанти топології мереж стандарту IEEE 802.15.4

На основі структури P2P [3] можуть формуватися довільні структури з'єднань, обмежені лише дальністю зв'язку між парами вузлів. З урахуванням цього, можливі різні варіанти топологічної структури WSN, зокрема «дерево» кластерів - структура, в якій вузли, будучи «листям дерева», пов'язані тільки з одним повнофункціональним пристроєм, тобто пристроєм, який може виконувати функції і координатора і вузла, а більшість вузлів в мережі є повнофункціональними пристроями. Можлива також mesh-топологія мережі, сформована на основі кластерних «дерев» з локальним координатором для кожного кластера , що містить глобальний мережевий координатор [4].

Топологія мережі багато в чому визначає вибір технологій фізичного і канального рівнів, протоколів самоорганізації. У свою чергу, вибір способу розташування вузлів мережі залежить від її призначення, параметрів вузлів, способу їх інсталяції.

Якщо вузли мережі «прив'язані» до деяких об'єктів інфраструктури, наприклад, до контрольованих або керованих об'єктів, то їх розташування визначається, по-перше, розміщенням цих об'єктів, а також способом розміщення деяких вузлів, що виконують допоміжні функції. При «прив'язці» до об'єктів інфраструктури, їх розміщення можна вважати детермінованим, при якому відомі координати вузлів і відстані між ними.

При розгляді мережі з фіксованими (нерухомими) вузлами, в залежності від її призначення, розподіл вузлів в зоні обслуговування може бути виконано різними способами.

При цьому можуть вирішуватися такі завдання як покриття деякої області або областей в зоні обслуговування зонами дії сенсорних пристроїв, що входять до складу вузлів мережі, забезпечення зв'язності мережі та її надійності.

У загальному випадку, розміщення вузлів можна розглядати як випадкове.

У реальній мережі при детермінованому розміщенні вузлів неможливо забезпечити абсолютну точність їх установки [5], а тому цей випадок не суперечить припущенню про випадковий характер їх розміщення.

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

Топологія самоорганізованої безпроводової мережі в значній мірі впливає на основні показники її функціонування, якими є доступність і час доставки повідомлення (даних) [6]. Як правило, поняття доступності розглядається як можливість надання послуги. У розглянутих мережах ця можливість безпосередньо пов'язана з поняттям зв'язності.

1.4 Стандарти безпроводових сенсорних мереж

Безпроводові сенсорні мережі (БСМ) - це один з найбільш перспективних напрямків у розвитку телекомунікаційних систем на сьогоднішній день. Вузли мініатюрних розмірів (плата розміром з один кубічний дюйм), інтегрований радіоінтерфейс, низьке споживання енергії, досить невисока вартість роблять цю мережу дуже вигідною для використання в тих областях життєдіяльності, де необхідно провести побудову систем контролю і управління або стежити за безпекою. Безпроводова сенсорна мережа необхідна в першу чергу в таких областях, де взагалі неможлива прокладка кабелів з технічних, економічних або організаційних причин.

Вузол сенсорної мережі (мот) - являє собою плату, на якій знаходяться приймач, мікроконтролер, батареї, пам'ять і датчик. Датчики можуть використовуватися найрізноманітніші, найчастіше застосовуються датчики температури, тиску, вологості, освітленості, рідше датчики вібрації або хімічних вимірювань. На моти встановлюється спеціальне програмне забезпечення, за допомогою якого вони організовують мережу, обмінюються інформацією між собою. Більшість безпроводових сенсорних мереж використовує TinyOS - програмне забезпечення, розроблене в Університеті Берклі. Максимальна відстань, на яку можливо передати повідомлення становить не більше 100 метрів. Для того щоб отримувати і відправляти дані, кожен вузол оснащений антеною. Процес роботи сенсорної мережі представлений на рисунку 1.3 [7].

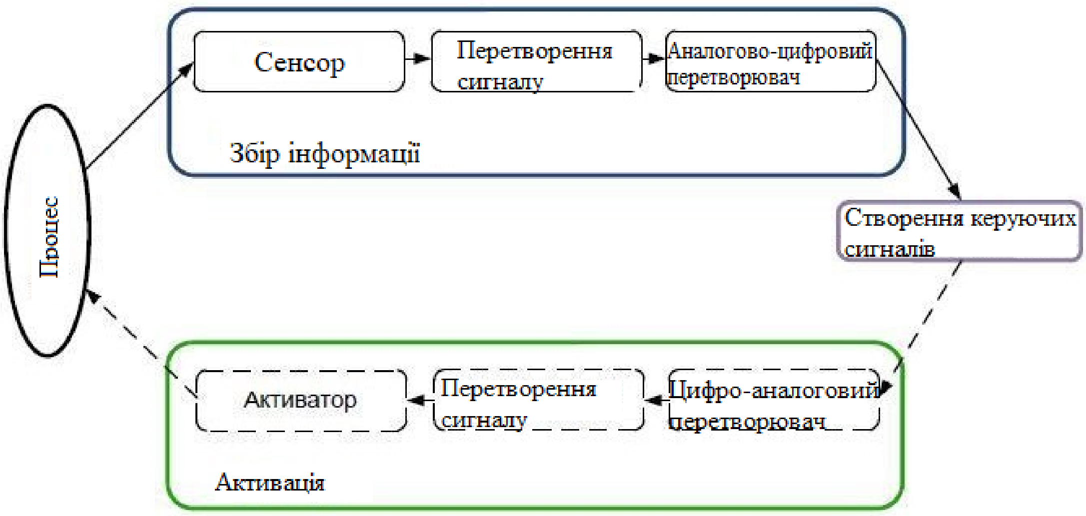


Рисунок 1.3 – Процес роботи мотів в сенсорній мережі

Вузли сенсорної мережі можуть бути стаціонарними, закріпленими на певному місці, можуть також кріпитися на пересувні об'єкти і вільно переміщатися, залишаючись при цьому частиною мережі. Моти передають інформацію один одному, а ті моти, які опиняються поруч зі шлюзом, відправляють йому всі акумульовані дані. При виході деяких мотів з ладу, мережа, після переконфігурації, продовжує працювати. На рисунку 1.4 показано внутрішню будову вузла сенсорної мережі.

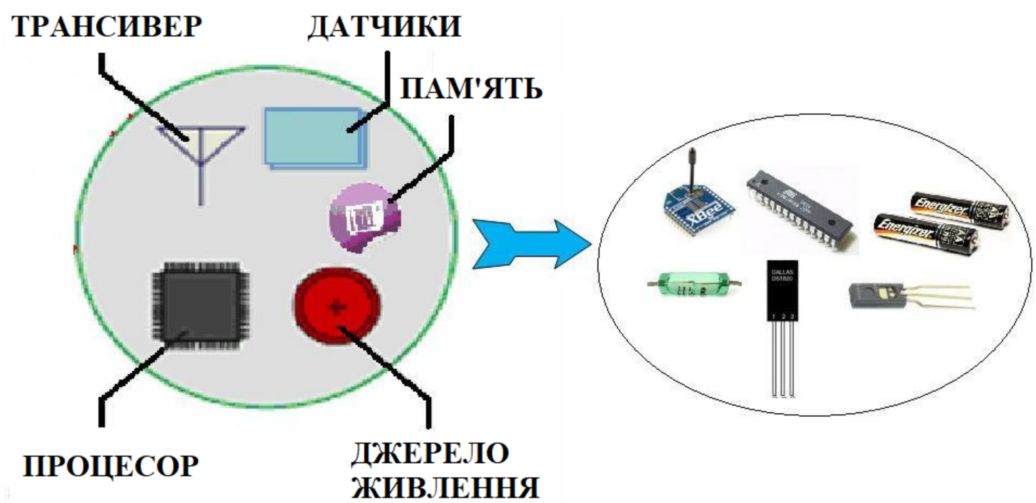


Рисунок 1.4 – Вузол сенсорної мережі

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

1.4.1 Стандарт Wi-Fi

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

Не зважаючи на те, що спочатку в деяких прес-релізах WECA фігурувало словосполучення Wireless Fidelity (безпроводова точність), на даний момент від такого формулювання відмовилися, і термін Wi-Fi ніяк не розшифровується.

Продукти, що призначалися спочатку для систем касового обслуговування, були виведені на ринок під маркою WaveLAN і забезпечували швидкість передавання даних від 1 до 2 Мбіт / с. Творець Wi-Fi - Вік Хейз (Vic Hayes) знаходився в команді, що брала участь в розробці таких стандартів, як IEEE 802.11b, IEEE 802.11a і IEEE 802.11g. Зазвичай схема мережі Wi-Fi містить не менше однієї точки доступу і не менше одного клієнта.

Також можливе підключення двох клієнтів в режимі точка-точка (Ad-hoc), коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються за допомогою мережевих адаптерів безпосередньо.

Точка доступу передає свій ідентифікатор мережі (SSID) за допомогою спеціальних сигнальних пакетів зі швидкістю 0,1 Мбіт / с кожні 100 мс. Тому 0,1 Мбіт / с - найменша швидкість передавання даних для Wi-Fi. Знаючи SSID мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливе підключення до даної точки доступу. При попаданні в зону дії двох точок доступу з ідентичними SSID приймач може вибирати між ними на підставі даних про рівень сигналу. Стандарт Wi-Fi дає клієнтові повну свободу при виборі критеріїв для з'єднання.

Пристрої Wi-Fi широко поширені на сучасному ринку. Сумісність устаткування гарантується завдяки обов'язковій його сертифікації з логотипом Wi-Fi. Випромінювання від Wi-Fi-пристроїв в момент передавання даних на два порядки (в 100 разів) менше, ніж від стільникового телефону. Технологія дозволяє розгорнути мережу без прокладки кабелю, що може зменшити вартість розгортання і / або розширення мережі. Місця, де не можна прокласти кабель, наприклад, поза приміщеннями і в будівлях, що мають історичну цінність, можуть обслуговуватися безпроводовими мережами. Технологія дозволяє мобільним пристроям мати доступ до мережі.

Стандарт шифрування WEP може бути відносно легко зламаний, навіть при правильній конфігурації (через слабку стійкість алгоритму). Незважаючи на те, що нові пристрої підтримують досконаліший протокол шифрування даних WPA і WPA2, багато старих точки доступу не підтримують його і вимагають заміни.

Прийняття стандарту IEEE 802.11i (WPA2) в червні 2004 року зробило доступною більш ефективну схему аутентифікації і шифрування, яка застосовується в новому обладнанні. Для реалізації протоколів WPA і WPA2 потрібно більш надійний пароль, ніж той, який зазвичай призначається користувачем.

Стандарт IEEE 802.11 визначає два режими роботи мережі - Ad-hoc (BSS - Basic Service Set) і інфраструктурний ESS - Extended Service Set. Режим Ad-hoc («точка-точка») - це проста мережа, в якій зв'язок між станціями (клієнтами) встановлюється безпосередньо, без використання спеціальної точки доступу. У режимі інфраструктурний ESS безпроводова мережа складається, як мінімум, з однієї точки доступу, підключеної до провідної мережі, і деякого набору безпроводових клієнтських станцій.

Для організації безпроводової мережі в замкнутому просторі застосовуються передавачі зі всеспрямованими антенами. Слід мати на увазі, що через стіни з великим вмістом металевої арматури (в залізобетонних будівлях такими є несучі стіни) радіохвилі діапазону 2,4 ГГц іноді можуть взагалі не проходити, тому в кімнатах, розділених подібної стіною, доведеться ставити свої точки доступу. Потужність, яку випромінює передавач точки доступу або ж клієнтської станції, що працює за стандартом IEEE 802.11, не перевищує 0,1 Вт, але багато виробників безпроводових точок доступу обмежують потужність лише програмним шляхом, і досить просто підняти потужність до 0,2-0,5 Вт. Для порівняння - потужність, яку випромінює мобільний телефоном на порядок більше (в момент дзвінка - до 2 Вт). Оскільки, на відміну від мобільного телефону, елементи мережі розташовані далеко від голови, в цілому можна вважати, що безпроводові комп'ютерні мережі більш безпечні з точки зору здоров'я, ніж мобільні телефони [8].

Продукти для безпроводових мереж, що відповідають стандарту IEEE 802.11, пропонують чотири рівні засобів безпеки: фізичний, ідентифікатор набору служб (SSID - Service Set Identifier), ідентифікатор управління доступом до середовища (MAC ID - Media Access Control ID) і шифрування.

Багато організацій використовують додаткове шифрування (наприклад, VPN) для захисту від вторгнення. На даний момент основним методом злому WPA2 є підбір пароля, тому рекомендується використовувати складні цифро-буквені паролі для того, щоб максимально ускладнити завдання підбору пароля.

1.4.2 Стандарт WiMAX

WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) - телекомунікаційна технологія, розроблена з метою надання універсального безпроводового зв'язку на великих відстанях для широкого спектру пристроїв (від робочих станцій і портативних комп'ютерів до мобільних телефонів). Заснована на стандарті IEEE 802.16, який також називають Wireless MAN (WiMAX слід вважати жаргонним назвою, так як це не технологія, а назва форуму, на якому Wireless MAN і був узгоджений).

WiMAX підходить для вирішення завдання з'єднання точок доступу Wi-Fi один з одним і іншими сегментами Інтернету, а також забезпечення безпроводового широкосмугового доступу як альтернативи виділеним лініям і xDSL. WiMAX дозволяє здійснювати доступ в Інтернет на високих швидкостях, з набагато більшим покриттям, ніж у Wi-Fi-мереж. Це дозволяє використовувати технологію в якості магістральних каналів, продовженням яких виступають традиційні виділені і xDSL-лінії, а також локальні мережі. В результаті подібний підхід дозволяє створювати масштабовані високошвидкісні мережі в рамках міст.

WiMAX - це система далекої дії, що покриває кілометри простору, яка зазвичай використовує ліцензовані спектри частот (хоча можливо і використання неліцензованих частот) для надання з'єднання з інтернетом типу точка-точка провайдером кінцевому користувачеві. Різні стандарти сімейства 802.16 забезпечують різні види доступу, від мобільного (схожий з передаванням даних у мобільних телефонів) до фіксованого (альтернатива провідного доступу, при якому безпроводове обладнання користувача прив'язане до місця розташування).

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

WiMAX і Wi-Fi мають абсолютно різний механізм Quality of Service (QoS). WiMAX використовує механізм, заснований на встановленні з'єднання між базовою станцією і пристроєм користувача. Кожне з'єднання засноване на спеціальному алгоритмі планування, який може гарантувати параметр QoS для кожного з'єднання. Wi-Fi, в свою чергу, використовує механізм QoS подібний до того, що використовується в Ethernet, при якому пакети отримують свої пріоритети. Такий підхід не гарантує однаковий QoS для кожного з'єднання.

Набір переваг притаманний всьому сімейству WiMAX, однак його версії істотно відрізняються один від одного. Розробники стандарту шукали оптимальні рішення як для фіксованого, так і для мобільного застосування, але поєднати всі вимоги в рамках одного стандарту не вдалося. Хоча ряд базових вимог збігається, націленість технологій на різні ринкові ніші призвела до створення двох окремих версій стандарту (вірніше, їх можна вважати двома різними стандартами). Кожна з специфікацій WiMAX визначає свої робочі діапазони частот, ширину смуги пропускання, потужність випромінювання, методи передавання та доступу, способи кодування і модуляції сигналу, принципи повторного використання радіочастот та інші показники. Тому WiMAX-системи, засновані на версіях стандарту IEEE 802.16 e і d, практично несумісні.

Основна відмінність двох технологій полягає в тому, що фіксований WiMAX дозволяє обслуговувати тільки статичних абонентів, а мобільний орієнтований на роботу з користувачами, що пересуваються зі швидкістю до 150 км / г.

Мобільність означає наявність функцій роумінгу і "безшовного" перемикання між базовими станціями при пересуванні абонента (як відбувається в мережах стільникового зв'язку). В окремому випадку мобільний WiMAX може застосовуватися і для обслуговування фіксованих користувачів. З винаходом мобільного WiMAX все більший акцент робиться на розробці мобільних пристроїв, в тому числі, спеціальних телефонних трубок (схожих на звичайний мобільний смартфон), і комп'ютерної периферії (USB-радіомодулів і PC card). Устаткування для використання мереж WiMAX поставляється кількома виробниками і може бути встановлено як в приміщенні (пристрої розміром зі звичайний xDSL-модем), так і поза ним. Слід зауважити, що обладнання, яке розраховане на розміщення усередині приміщень і не вимагає професійних навичок при установці, звичайно, зручніше, проте здатне працювати на значно менших відстанях від базової станції, ніж професійно встановлені зовнішні пристрої. Тому обладнання, встановлене всередині приміщень, вимагає набагато більших інвестицій в розвиток інфраструктури мережі.

У загальному вигляді WiMAX мережі складаються з наступних основних частин: базових і абонентських станцій, а також обладнання, що зв'язує базові станції між собою, з постачальником сервісів і з Інтернетом. Структура мереж сімейства стандартів IEEE 802.16 схожа з традиційними GSM-мережами (базові станції діють на відстанях до десятків кілометрів, для їх установки не обов'язково будувати вежі - допускається установка на дахах будинків при дотриманні умови прямої видимості між станціями). WiMAX застосовується як для вирішення проблеми "останньої милі", так і для надання доступу в мережу офісним та районним мережам.

Для з'єднання базової станції з абонентською використовується високочастотний діапазон радіохвиль від 1,5 до 11 ГГц. В ідеальних умовах швидкість обміну даними може досягати 70 Мбіт / с, при цьому не потрібно забезпечення прямої видимості між базовою станцією і приймачем. Між базовими станціями встановлюються з'єднання (прямої видимості), що використовують діапазон частот від 10 до 66 ГГц, швидкість обміну даними може досягати 140 Мбіт / с. При цьому принаймні одна базова станція підключається до мережі провайдера з використанням класичних дротових з'єднань. Однак, чим більше число БС підключено до мереж провайдера, тим вище швидкість передавання даних і надійність мережі в цілому [9].

1.4.3 Стандарт Bluetooth

Bluetooth забезпечує обмін інформацією між такими пристроями як персональні комп'ютери (настільні, кишенькові, ноутбуки), мобільні телефони, принтери, цифрові фотоапарати, мишки, клавіатури, джойстики, навушники, гарнітури на надійній, недорогій, повсюдно доступній радіочастоті для ближнього зв'язку. Безпроводовий канал дозволяє цим пристроям повідомлятися, коли вони знаходяться в радіусі від 1 до 200 м один від одного (дальність сильно залежить від перешкод і перешкод), навіть у різних приміщеннях. Варто відзначити, що компанія AIRcable випустила Bluetooth-адаптер Host XR з радіусом дії близько 30 км. Для спільної роботи Bluetooth-пристроїв необхідно, щоб всі вони підтримували загальний профіль. Профіль - набір функцій або можливостей, доступних для певного пристрою Bluetooth. Технологія Bluetooth спирається на неліцензованому частотний діапазон 2,4 ÷ 2,4835 ГГц. При цьому використовуються широкі захисні смуги: нижня межа частотного діапазону становить 2 ГГц, а верхня - 3,5 ГГц. Частота (положення центру спектра) задається з точністю ± 75 кГц. Дрейф частоти в цей інтервал не входить. Кодування сигналу здійснюється за дворівневою схемою GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). Логічного 0 і 1 відповідають дві різні частоти. В обумовленій частотній смузі виділяється 79 радіоканалів по 1 МГц кожен.

1.4.4 Стандарт HomeRF

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

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

HomeRF використовує радіопередавачі низької потужності, які подібні до тих, що використовуються в персональних безпроводових мережах стандарту 802.15 на основі технології Bluetooth. Різниця між двома технологіями полягає в тому, що HomeRF орієнтована тільки на ринок домашніх користувачів, включаючи SWAP (Standard Wireless Access Protocol - стандартний протокол безпроводового доступу), який в рамках HomeRF дає можливість більш ефективно обробляти мультимедіа додатки. Передавачі діють на відстані 40-50 м від базової станції і можуть бути вбудовані в картки типу Compact Flash.

1.4.5 Стандарт ZigBee

ZigBee - назва набору мережевих протоколів верхнього рівня, які використовують маленькі, малопотужні радіопередавачі, засновані на стандарті IEEE 802.15.4. Цей стандарт описує безпроводові персональні обчислювальні мережі (WPAN). ZigBee націлена на додатки, яким потрібен тривалий час автономної роботи від батареї і висока безпека передавання даних при невеликих швидкостях їх передавання.

Основна особливість технології ZigBee полягає в тому, що вона при відносно невисокому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології безпроводового зв'язку («точка-точка» і «зірка»), а й складні безпроводові мережі з комірчастою топологією з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень. Області застосування даної технології - це побудова безпроводових мереж датчиків, автоматизація житлових і споруджуваних приміщень, створення індивідуального діагностичного медичного обладнання, системи промислового моніторингу та управління, а також при розробці побутової електроніки і персональних комп'ютерів.

Ім'я бренду походить від поведінки медових бджіл, після повернення їх у вулик. Мережі, утворені за протоколом ZigBee почали розглядатися з 1998, коли виникла необхідність в самоорганізованих системах зв'язку. ZigBee працює в промислових, наукових і медичних (ISM-діапазон) радіодіапазоні: 868 МГц в Європі, 915 МГц в США і в Австралії, і 2,4 ГГц в більшості країн в світі (під більшістю юрисдикцій країн світу). Так як ZigBee-пристрій більшу частину часу перебуває в сплячому режимі, рівень споживання енергії може бути дуже низьким, завдяки чому досягається тривала робота від батарей. ZigBee-пристрій може активуватися (тобто переходити від сплячого режиму до активного) за 15 мс або менше, затримка його відгуку може бути дуже малою, особливо в порівнянні з Bluetooth, для якого затримка, що утворюється при переході від сплячого режиму до активного, зазвичай досягає трьох секунд.

Беручи до уваги такі критерії, як ціна чіпів, дешевизна і швидкість освоєння технології, низьке енергоспоживання і стійкість перед перешкодами, можна сказати, що ZigBee нерідко є зараз кращим вибором. Чіпи для реалізації ZigBee випускають такі відомі фірми, як Texas Instruments, Freescale, Atmel, STMicroelectronics, OKI і т.д. Це гарантує низькі ціни на комплектуючі для даної технології. ZigBee - це технологія, що заповнює нішу низькошвидкісних безпроводових мереж з низьким енергоспоживанням, призначених для систем управління з великою кількістю вузлів, таких як системи освітлення в будівлях, системи спостереження за парком промислового обладнання і т.д.

В даний час досить доступними є модулі ZigBee: ETRX2, ETRX3, випущені фірмою Telegesis. Для ознайомлення з ними існують стартові набори, що включають в себе модуль-координатор, який має USB-роз'єм, і три інших модуля, які можна налаштувати на роботу роутера або кінцевого пристрою, що займає датчиками температури і освітленості, тестовими кнопками і т.п. [10]

В таблиці 1.1 наведено порівняльну характеристику основних стандартів.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика стандартів безпроводових мереж

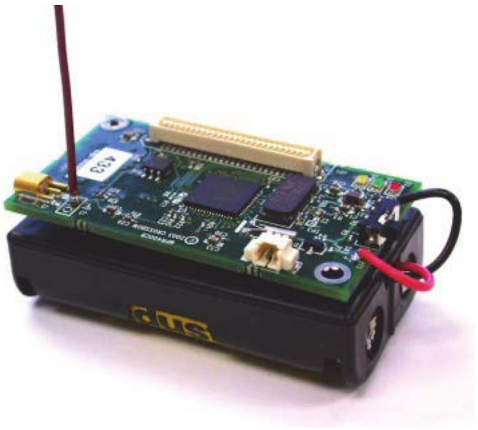
Стандарт	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)
Частотний діапазон	2,4-2483 ГГц	2,4-2,483 ГГц	2,4-2,483 ГГц
Пропускна здатність кбіт/с	250	11000	723,1
Розмір стека протоколу, кбайт	32-64	більше 1000	більше 250
Час безперервної роботи від батареї, дн	100-1000	0,5-5	1-10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

Наведені в таблиці 1.1 характеристики демонструють, що оптимальним стандартом для безпроводової сенсорної мережі в умовах “розумного міста” можна вважати стандарт ZigBee, оскільки він забезпечує найкращий час роботи від вбудованих джерел живлення, що грає важливу роль, адже часто сенсори розміщені у важкодоступних місцях і їх регулярна заміна не є можливою. Іншим важливим параметром є максимальна кількість вузлів.

1.5 Аналіз платформ для датчиків

Через відсутність чіткої стандартизації в сенсорних мережах, використовуються різні платформи для безпроводових датиків. Всі вони відповідають основним базовим вимогам до сенсорних мереж: низьке енергоспоживання, тривалий час роботи, малопотужні прийомопередавачі і наявність сенсорів. До основних платформ можна віднести MICA2/MICAz, TelosB.

MICA2/MICAz є другим та третім покоління WSN-технологій від CrossBow, відповідно. MICA2 та MICAz використовують мікроконтроллер Atmega128L та прийомопередавачі CC1000/ CC2420. MICA2 та MICAz мають вбудовані сенсорні модулі для виміру вологості, температури і світла та мають інтерфейсну підтримку для підключення сенсорів напряму до моти. Дані платформи можуть вимірювати барометричний тиск, сейсмічну активність тощо. Моти живляться від двох зовнішніх батарейок типу AA. На рисунках зображено зовнішній вигляд платформ MICA2 та MICAz, відповідно.



а

б

Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд платформ CrossBow (а – MICA2, б – MICAz)

Платформа **TelosB** містить сумісний з 802.15.4 прийомопередавач CC2420, розроблений компанією Texas Instruments. TelosB має вбудовані датчики вологості і температури типу IC (SHT2x від Sensirion). Дана платформа також живиться від двох зовнішніх батарейок типу АА. Платформу TelosB зображено на рисунку.

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд платформи TelosB

В якості операційної системи для вузлів сенсорної мережі використовується компонентна операційна система з відкритим вихідним кодом **TinyOS**, написана на мові nesC. Бібліотека компонентів TinyOS включає мережеві протоколи,драйвери сенсорів і утиліти отримання і збору інформації, які можуть бути вдосконалені в клієнтських додатках. При розробці TinyOS основна увага була приділена забезпеченню можливості використання для програмування мови с досить високим рівнем абстракції. В результаті була створена операційна система (ОС) з простою, але досить розвиненою компонентною архітектурою. Специфіка цієї архітектури полягає в забезпеченні розвинених і надійних механізмів паралельного виконання задач в умовах вкрай обмежених ресурсів,в першу чергу пам'яті і електроживлення.

1.6 Вимоги до якості обслуговування

Ймовірносно-часові параметри обслуговування трафіку є основними показниками якості функціонування мережі зв'язку. Для мереж загального користування вони нормуються [11], причому нормативні значення визначаються основними вимогами з боку наданих послуг зв'язку [12].

Для систем, що самоорганізуються ці показники також мають визначальне значення, оскільки вони характеризують потенційні можливості цих мереж з обслуговування трафіку різного роду послуг [13]. Істотною відмінністю даного класу мереж, що визначає вимоги до якості обслуговування, від мереж зв'язку загального користування є їх цільове призначення, яке визначається областю їх застосування [14].

Час доставки даних в мережі також є одним з основних показників якості і залежить як від технології реалізації каналів зв'язку між вузлами мережі, так і від числа транзитів (стрибків) в маршруті доставки даних [15]. Число транзитів, в свою чергу, також визначається топологією мережі.

Вимоги до якості обслуговування трафіку в них можуть змінюватися в широких межах в залежності від розв'язуваної мережею завдання. Наприклад, вимоги до ймовірності втрат і затримки можуть бути значно нижче для мереж, толерантних до втрат і затримки (DTN) [13], ніж для мереж зв'язку загального користування. Також вони можуть бути порівняні з цими вимогами, якщо мережа використовується в цілях надання таких послуг як передавання мови або відео, наприклад для сенсорних керуючих мереж (SCN) в системах забезпечення безпеки у випадках НС [15].

Ці параметри істотно залежать, як від технології організації зв'язку між вузлами мережі, так і від способу її побудови, т. Е. Топології (фізичного розташування вузлів) і методів маршрутизації трафіку. Методи побудови мережі та її топологія, в свою чергу, в значній мірі визначаються областю застосування і цільовим призначенням. Тому, доцільно мати можливість вибору параметрів мережі з урахуванням їх впливу на її ймовірнісно-часові характеристики.

Висновки до розділу

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

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

3. До актуальних стандартів для організації WSN відносять: Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, HomeRF, ZigBee. Проаналізувавши та порівнявши перелічені стандарти, обрано стандарт ZigBee як такий, що поєднує відносну дешевизну, низьке енергоспоживання і стійкість до перешкод.

2 АНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ WSN

2.1 Аналіз програмних засобів для моделювання WSN

Найбільш ефективним засобом для оцінки показників якості інформаційно-комунікаційних систем є імітаційне моделювання. Для цієї мети в даний час існує велика кількість мережевих симуляторів. Розглянемо найбільш поширені з них.

2.1.1 Симулятор NS-2

NS-2 є програмним забезпеченням з відкритим кодом (Open Source software), призначеним для дискретно-подієвого моделювання проводових і безпрводових (мобільних) систем зв'язку. Основними мовами в складі симулятора є C ++ і Tcl (Tool Command Language). Для створення симуляцій використовується OTCL (Object Tcl). Програма знаходиться у вільному доступі, її можна завантажити на сайті програми і використовувати в академічних цілях безкоштовно.

Симулятор підтримує велику кількість протоколів, типів мереж, мережевих елементів, моделей передавання даних. Для моделювання ad-hoc мереж підтримуються протоколи маршрутизації AODV, DSDV, DSR і TORA, що вимагають додаткового доопрацювання для забезпечення можливості роботи з мобільними вузлами.

У симуляторі NS-2 існує модель, яка реалізує стандарт IEEE 802.15.4. Структура компонентів моделі LR-WPAN (Low-Rate Wireless Personal Area) і основні її функції представлені на рисунку 2.1.

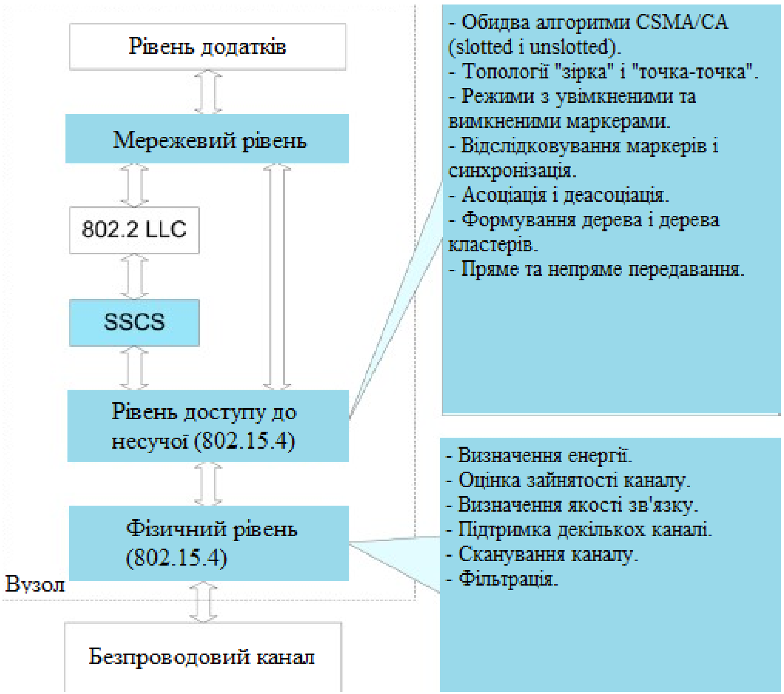


Рисунок 2.1 – Структура компонентів моделі LR-WPAN NS-2

Слід згадати, що в перших версіях моделі були реалізовані базові функції мережевого рівня ZigBee, але пізніше вони були виключені з загального доступу, оскільки не в повній мірі відповідали даному стандарту. У зв'язку з цим на поточний момент можна використовувати тільки існуючі в NS-2 протоколи маршрутизації, які не до кінця враховують особливості безпроводових сенсорних мереж.

Документації щодо застосування симулятора небагато, мало навчальної літератури. Пропонується звертатися до списку поширених запитань і аналізувати вихідний код моделі [16].

2.1.2 Симулятор Cooja

Симулятор мережі для операційної системи (ОС) Contiki, спеціально розроблений для безпроводових сенсорних мереж, що дозволяє оцінити можливості мережі до її безпосередньої реалізації. Contiki - портативна ОС для пристроїв з низьким енергоспоживанням, таких як сенсорні вузли. Бібліотеки Contiki завантажуються і компілюються симулятором, і за допомогою певних функцій відбувається контроль і аналіз мережі. Незважаючи на те, що симулятор розроблений для безпроводових сенсорних мереж, він також підтримує стек протоколів TCP / IP. На рисунку 2.2 показано робоче вікно симулятора Cooja.

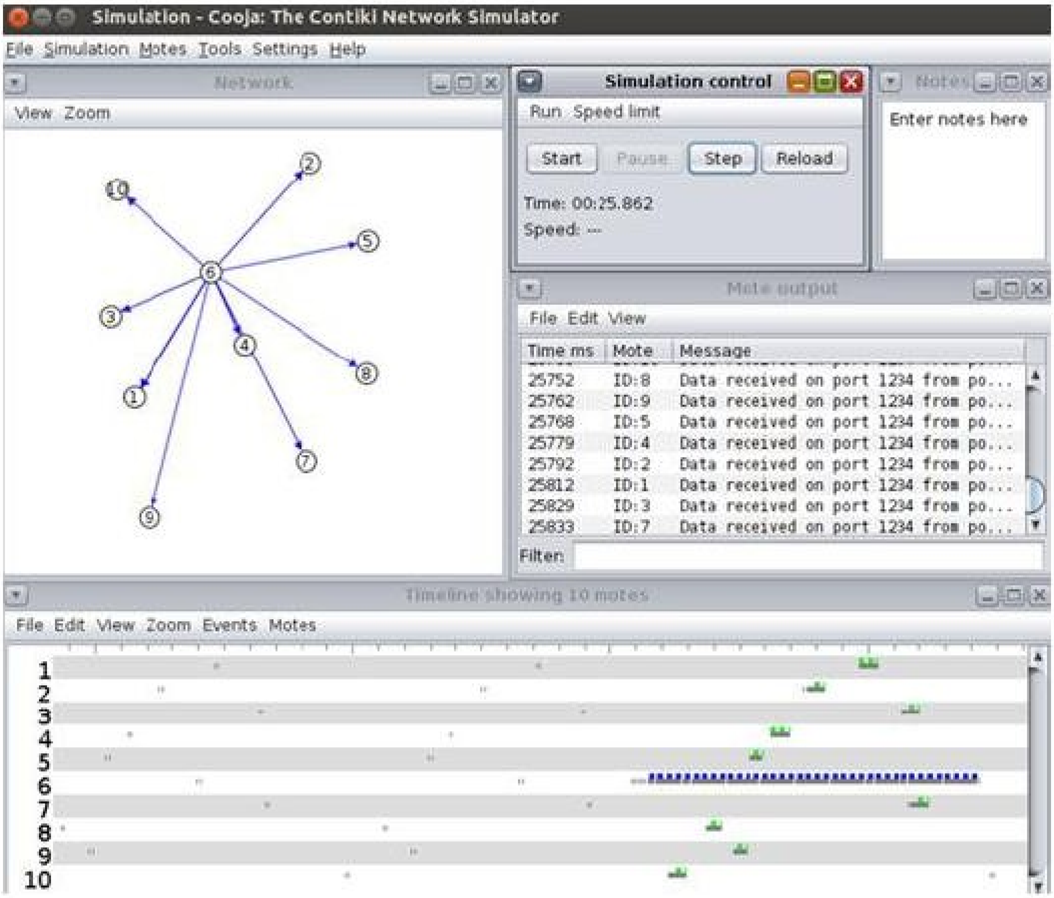


Рисунок 2.2 – Вікно симулятора Cooja

Симулятор для створення моделей використовує мову Java, проте дозволяє писати програми для мережевих пристроїв на мові С.

Cooja є розширюваним симулятором, для цієї мети використовуються додаткові плагіни і інтерфейси. Інтерфейс описує властивості сенсорного вузла, плагіни дозволяють формувати симуляцію, наприклад, контролювати швидкість симуляції або спостерігати і контролювати трафік між сенсорними вузлами. Симулятор підтримує одночасне моделювання декількох мереж.

Однією з особливостей симулятора Cooja є одночасне моделювання на трьох різних рівнях - мережевому рівні, рівні операційної системи і рівні інструкцій машинного коду.

Симулятор Cooja був розроблений для Linux і Windows / Cygwin, але пізніше з'явилася версія і для MacOs. [17].

2.1.3 Симулятор TOSSIM (TinyOS Simulator)

TinyOS - система, спеціально розроблена для сенсорних мереж. Вона має компонентну програмну модель, описану мовою nesC. TinyOS не є операційною системою в традиційному розумінні. Це програмне середовище для вбудованих систем і набір компонентів, які дозволяють створювати імітаційні моделі за допомогою конкретних додатків, наприклад, таких як TOSSIM. Симулятор TOSSIM може моделювати мережі розмірністю до декількох тисяч вузлів, і аналізуючи їх, передбачати поведінку мережі з високою точністю. Моделюючи мережі з можливими перешкодами і помилками, симулятор створює просту, але в той же час ефективну модель взаємодій вузлів в мережі. Описуючи малопотужну модель пристроїв TinyOS, симулятор моделює поведінку сенсорного вузла з великою вірогідністю, описуючи його характеристики і проводячи велику кількість експериментів. Для зручності, TOSSIM підтримує графічний інтерфейс користувача, забезпечуючи детальну візуалізацію і відтворення дій запущеної імітаційної моделі.

Наведемо загальні характеристики емулятора TOSSIM:

– маштабованість - симулятор підтримує модель мережі, що складається з великої кількості вузлів з різною конфігурацією. Найбільша з усіх розроблених мереж TinyOS складається приблизно з 850 вузлів, симулятор здатний підтримувати такі моделі;

– достовірність - симулятор описує різні взаємодії вузлів, які можуть виникнути в реальній мережі;

– зв'язаність - симулятор пов'язує алгоритм побудови з його графічним представленням, дозволяючи розробникам тестувати програмний код, який вимагає запуску на реальному пристрої, а також створювати візуалізації мережі.

Архітектура TOSSIM (рисунок 2.3) складається з наступних елементів:

– дискретний потік подій;

– набір програмних компонентів, які замінюють відповідні апаратні компоненти реальних мотів;

– засоби зв'язку, що надають можливість зовнішнім програмам взаємодіяти з емулятором [16].

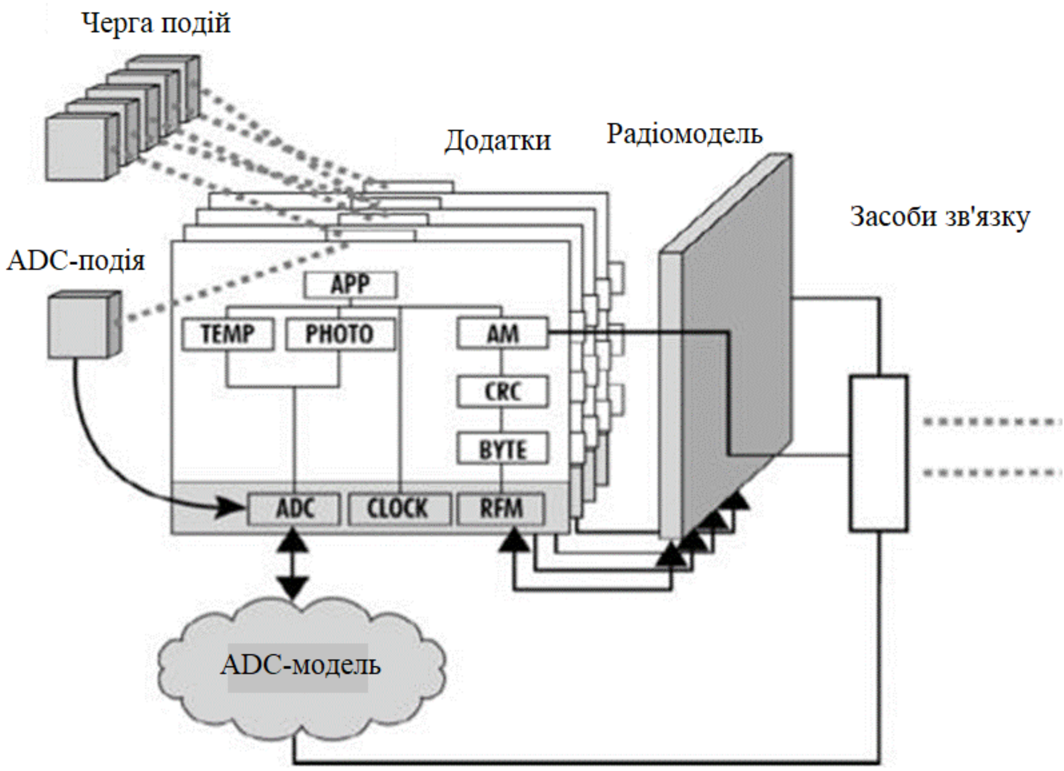


Рисунок 2.3 – Архітектура емулятора TOSSIM

2.1.4 Симулятор OMNeT++

Даний симулятор являє собою систему моделювання на основі дискретних подій яка може бути використана для таких завдань як:

– моделювання дротових і безпроводових комунікаційних систем;

– протоколів моделювання;

– моделювання мереж масового обслуговування.

Програма OMNeT ++ підходить для моделювання будь-якої мережі, основою якої є дискретна подія. Процес зручно відображається у вигляді об'єктів, що обмінюються повідомленнями.

OMNeT ++ використовує мову C ++ для імітаційних моделей. Імітаційні моделі в сукупності з мовою високого рівня NED збираються у компоненти и являються собою великі системи. Симулятор має графічні інструменти для створення моделей і оцінки результатів в режимі реального часу.

Моделі програми збираються з компонентів множинного використання, що називаються модулями. Модулі можна використовувати багато разів і об'єднувати за принципом блоків LEGO.

Модулі з'єднуються між собою за допомогою портів, і об'єднуються в складові модулі з використанням високорівневої мови програмування NED. Кількість можливих використаних модулів є обмеженою.

Модулі зв'язуються за допомогою передавання повідомлень, які містять довільні структури даних. Модулі можуть передавати повідомлення по певним портам і з'єднанням серверу або безпосередньо один одному. Останнє, наприклад, корисно для моделювання безпроводових мереж.

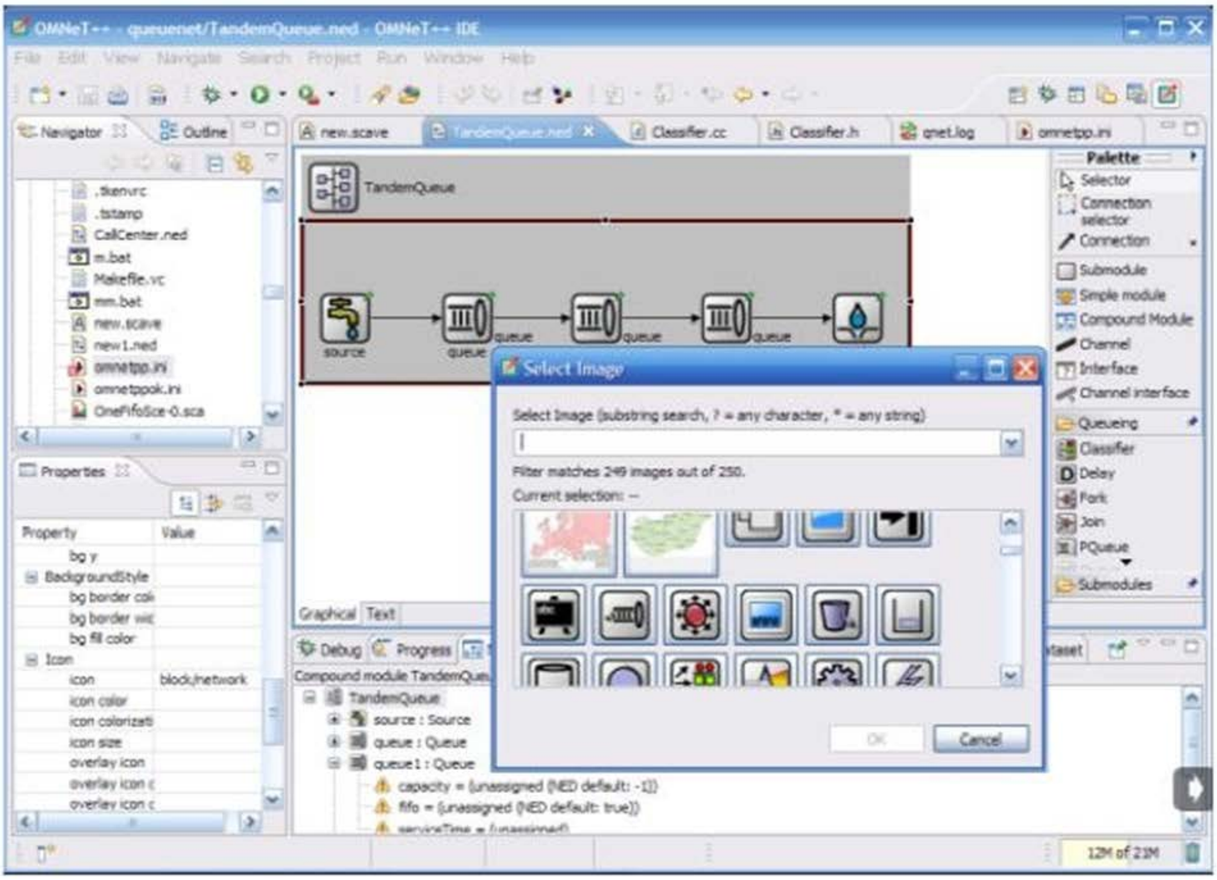


Рисунок 2.4 – Графічний NED редактор

Процес моделювання може працювати в різних призначених для користувача інтерфейсах. Графічно анімований призначений для користувача інтерфейс зручний для демонстрації та налагодження мережі, а інтерфейс командного рядка зручний для внесення змін.

Компоненти OMNeT ++:

1) коренева бібліотека моделювання;

2) OMNeT ++ IDE на базі платформи Eclipse;

3) графічний інтерфейс виконуваного моделювання, посилання на виконуваний файл (Tkenv);

4) призначений для користувача інтерфейс командного рядка для виконання моделювання (Cmdenv);

5) документація, приклади.

OMNeT ++ працює на базі найпоширеніших операційних систем: (Linux, Mac OS / X, Windows) [17].

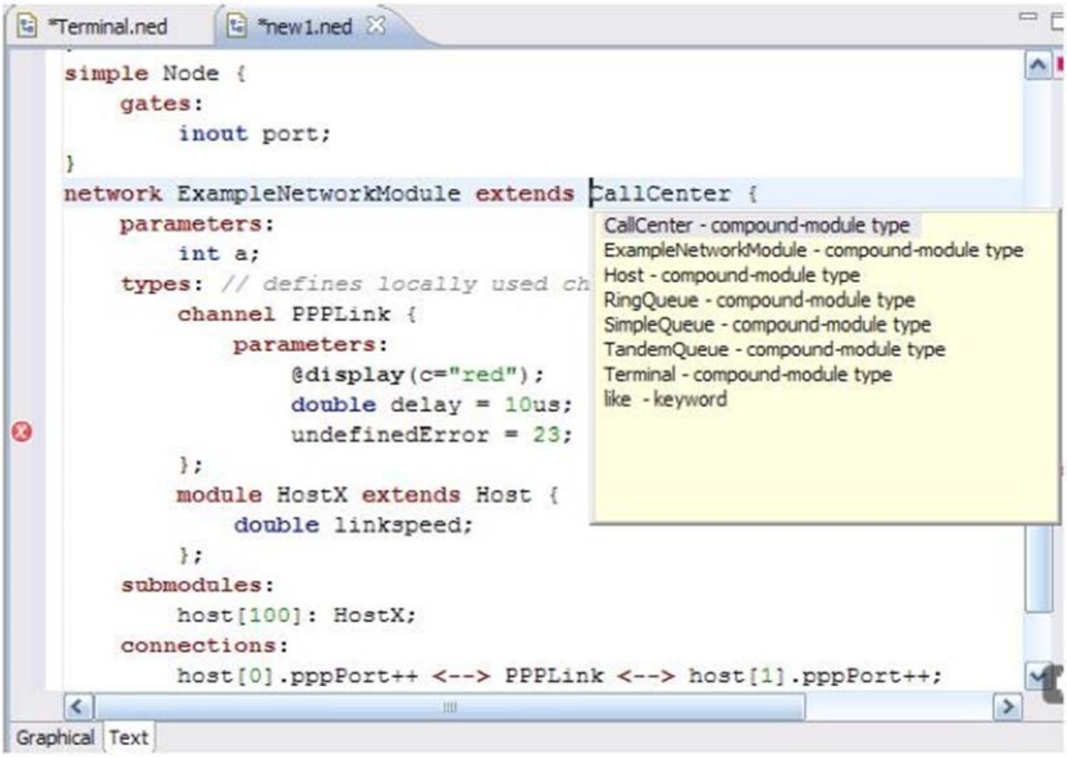


Рисунок 2.3 – Редактор вихідного коду NED

Порівняльний аналіз програмних засобів

В даному розділі проводиться порівняльний аналіз використання програмних продуктів OMNeT ++ і NS-2 для створення імітаційної моделі безпроводової сенсорної мережі (БСМ) і перевірки її параметрів. У даній роботі приділено велику увагу таким симуляторам, як NS-2 і OMNeT ++, у зв'язку з великою поширеністю першої (опитування MobiHoc виявив близько 45% користування даними симулятором для моделювання мереж) і простотою інтерфейсу симулятора OMNeT ++.

Якщо реалізація протоколів в NS-2 доступна в публічному користуванні, то застосування того ж протоколу в OMNeT ++ має складності, так як архітектура цих симуляторів різна. Для аналізу були сформульовані і задані критерії, за якими кожна з систем досліджувалася як на можливість моделювання бездпроводової сенсорної мережі, так і на відповідність модельованих подій реальними подіями, що відбуваються в мережі. Моделювання безпроводової сенсорної мережі дозволить приблизно оцінити теоретичні розрахунки, передбачити дії, що відбуваються в реальній мережі, описати взаємодію вузлів в мережі, провести тестування нових протоколів, описати можливі рішення по оптимізації архітектури, підібрати певні топології для застосування нових мережевих рішень.

У таблиці 2.1 наведені загальні порівняльні характеристики можливостей симуляторів NS-2 і OMNeT ++.

Таблиця 2.1 - Порівняльні характеристики можливостей NS-2 і OMNeT++

Параметри	NS-2	OMNeT++
Гнучкість	NS-2 було розроблено в якості TCP/IP, відповідно його використовують для імітації мереж з пакетним передавання даних. NS-2 має жорсткі уявлення про вузли мережі, мережеві протоколи, представлення пакетів, мережеві адреси, що має свої переваги, та не дає вносити будь-які зміни.	OMNeT++ має гнучку структуру моделювання. Можна змоделювати будь-яку мережу, компоненти якої взаємодіють шляхом передавання повідомлень.
Синхронізація	Дискретні події	Дискретні події
Платформа системи моделювання	Linux, FreeBSD, Solaris, Windows (Cygwin)	Linux, Unix, Windows (Cygwin)
Підтримка графічного інтерфейсу	Моніторинг потоку симуляції	Моніторинг потоку симуляції, розробка і визначення топології на C++, результат аналізу і симуляції

Продовження таблиці 2.1

Параметри	NS-2	OMNeT++
Документація	Документація NS-2 фрагментована, мало навчальної літератури.	OMNeT++ має доступну документацію, велику кількість навчальної літератури, відеоуроки.
Масштабованість для мереж великих розмірів	В NS-2 великі мережі складно масштабовані.	OMNeT++ Підтримує моделювання великих мереж. Обмежується виключно можливостями комп’ютера, на якому виконується симуляція.

2.2 Маршрутизація в WSN

Вибір алгоритму маршрутизації – одне з найважливіших питань на етапі проектування сенсорної мережі. По-перше, маршрутизація вимагає координації роботи всіх вузлів мережі. По-друге, алгоритм маршрутизації повинен справлятись з виходами з ладу вузлів шляхом перенаправлення трафіка і оновлення баз даних. По-третє, для досягнення найкращих результатів алгоритм маршрутизації повинен мати можливість змінювати маршрути при перенавантаженні деяких частин мережі.

Розрізняють три види маршрутизації в безпроводових сенсорних мережах - просту, фіксовану і адаптивну. Принципова різниця між ними полягає в ступені врахування зміни топології і навантаження мережі при вирішенні завдання вибору маршруту.

Проста маршрутизація відрізняється тим, що при виборі маршруту не враховується ні зміна топології мережі, ні зміна її стану (навантаження). Вона не забезпечує спрямованого передавання пакетів і має низьку ефективність. Її перевагами є простота реалізації і забезпечення стійкої роботи мережі при виході з ладу окремих її елементів. Практичне застосування отримали наступні різновиди простої маршрутизації: випадкова і лавинна.

Особливість *випадкової маршрутизації* полягає в тому, що для передавання пакета з вузла зв'язку вибирається один, випадковий вільний напрям. Пакет "блукає" по мережі і з кінцевою ймовірністю коли-небудь досягає адресата. При цьому не забезпечується ні оптимальний час доставки пакета, ні ефективне використання пропускної здатності мережі.

Лавинна маршрутизація (заповнення пакетами всіх вільних вихідних напрямків) передбачає передавання пакета з вузла в усіх напрямках, крім того напрямку, звідки пакет надійшов в даний вузол. Оскільки це відбувається в кожному вузлі, має місце явище "розмноження" пакета, що різко погіршує використання пропускної здатності мережі. Щоб цього не сталося, необхідно позначати копії пакета і знищувати дублікати в кожному вузлі . Основна перевага такого методу - гарантоване забезпечення оптимального часу доставки пакета адресату, так як з усіх напрямків, за якими передається пакет, хоча б одне забезпечує такий час. Метод може використовуватися в незавантажених мережах, коли вимоги щодо мінімізації часу і надійності доставки пакетів досить високі.

Фіксована маршрутизація характеризується тим, що при виборі маршруту враховується зміна топології мережі і не враховується зміна її навантаження. Для кожного вузла призначення напрямок передавання вибирається з таблиці маршрутів, яка визначає найкоротші шляхи. Каталоги складаються в центрі управління мережею. Вони складаються заново і модифікуються при зміні топології мережі. Відсутність адаптації до зміни навантаження призводить до затримок пакетів мережі. Розрізняють одношляховий і багатошляховий різновиди фіксованої маршрутизації. Перша будується на основі єдиного шляху передавання пакетів між двома абонентами, що пов'язане з нестійкістю до відмов і перевантажень, а друга - на основі кількох можливих шляхів між двома абонентами, з яких вибирається кращий шлях. Фіксована маршрутизація застосовується в мережах з мало змінюваною топологією і усталеними потоками пакетів.

Адаптивною називається маршрутизація, при якій прийняття рішення про направлення передавання пакетів здійснюється з урахуванням зміни як топології, так і навантаження мережі. Існує кілька модифікацій адаптивної маршрутизації, що розрізняються тим, яка саме інформація використовується при виборі маршруту. Набули поширення такі модифікації, як локальна, розподілена, централізована і гібридна маршрутизації.

Локальна адаптивна маршрутизація заснована на використанні інформації, наявної в даному вузлі і включає: таблицю маршрутів, яка визначає всі напрямки передавання пакетів з цього вузла; дані про стан вихідних ліній зв'язку (працюють або не працюють); довжину черги пакетів, які мають бути надіслані. Інформація про стан інших вузлів зв'язку не використовується. Таблиця маршрутів визначає найкоротші маршрути, що забезпечують доставку пакета адресату за мінімальний час. Перевага такого методу полягає в тому, що прийняття рішення про вибір маршруту проводиться з використанням актуальних даних про стан вузла. Недолік методу в його "короткозорості", оскільки вибір маршруту здійснюється без урахування глобального стану всієї мережі. Отже, завжди є небезпека передаванння пакету по перевантаженому маршруту.

Розподілена адаптивна маршрутизація заснована на використанні інформації, вказаної для локальної маршрутизації, і даних, одержаних від сусідніх вузлів мережі. У кожному вузлі формується таблиця маршрутів до всіх вузлів призначення, де вказуються маршрути з мінімальним часом затримки пакетів. До початку роботи мережі цей час оцінюється виходячи з топології мережі. В процесі роботи мережі, вузли періодично обмінюються з сусідніми вузлами, так званими таблицями затримки, в яких вказується навантаження (довжина черги пакетів) вузла. Після обміну таблицями затримки кожен вузол перераховує затримки і корегує маршрути з урахуванням даних, що надійшли і довжини черг в самому вузлі. Обмін таблицями затримки може здійснюватися не тільки періодично, але і асинхронно в разі різких змін навантаження або топології мережі. Облік стану сусідніх вузлів при виборі маршруту істотно підвищує ефективність алгоритмів маршрутизації, але це досягається за рахунок збільшення навантаження мережі службовою інформацією. Крім того, відомості про зміну стану вузлів поширюються по мережі порівняно повільно, тому вибір маршруту проводиться за дещо застарілим даними.

Централізована адаптивна маршрутизація характеризується тим, що завдання маршрутизації для кожного вузла мережі вирішується в центрі маршрутизації (ЦМ). Кожен вузол періодично формує повідомлення про свій стан (довжина черг і працездатність ліній зв'язку) і передає його в ЦМ. За цими даними в ЦМ для кожного вузла складається таблиця маршрутів. Природно, що передавання повідомлень в ЦМ, формування та надання таблиць маршрутів - все це пов'язано з тимчасовими затримками, отже, зі зменшенням ефективності такого методу, особливо при великій пульсації навантаження в мережі. Крім того, є небезпека втрати управління мережею при відмові ЦМ.

Гібридна адаптивна маршрутизація заснована на використанні таблиць маршрутів, що розсилаються ЦМ вузлам мережі, в поєднанні з аналізом довжини черг у вузлах. Отже, тут реалізуються принципи централізованої та локальної маршрутизації. Гібридна маршрутизація компенсує недоліки централізованої маршрутизації (маршрути, що формуються центром, є дещо застарілими) і локальної ("короткозорість" методу) але має їх переваги: маршрути центру відповідають глобальному стану мережі, а облік поточного стану вузла забезпечує своєчасність виконання завдання.

2.3 Протокол маршрутизації AODV

AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) - протокол динамічної маршрутизації для мобільних ad-hoc мереж. Протокол AODV, у порівнянні з DSR та DSDV, краще себе показує в мережах з мобільними вузлами та більше ніж на 20% більш енергоефективний. Даний протокол дозволяє мобільним вузлів швидко встановити маршрут з нових напрямків, і не вимагає від вузлів зберігати в пам'яті неактивні маршрути. AODV протокол забезпечує своєчасну зміну маршруту в разі втрати зв'язку в мережі. Відмінною особливістю є присвоювання порядкового номера при оновленнях маршруту. Маршрут з високим порядковим номером найбільш прийнятний. AODV протокол визначаються наступними типами повідомлень: Запит створення маршруту (RREQ), відповідь (RREP) і повідомлення про помилку (PERR) [19].

Можна навести наступний опис роботи протоколу. Коли вузлу потрібно передати дані, він розсилає RREQ для того, щоб створити маршрут передавання. Визначення маршруту відбувається, якщо запит досяг свого одержувача безпосередньо, або через проміжні вузли. Маршрут створюється, якщо запитувач-вузол отримав відповідь, було надіслано повідомлення RREP. Відповідь приходить строго до запитуючого вузла, а не розсилається по всій мережі (рисунок 2.4). Вузли також здійснюють контроль лінії зв'язку активного маршруту. Якщо зв'язок обривається, розсилається повідомлення про помилку RERR, для повідомлення інших вузлів про обрив зв'язку. Це повідомлення говорить про те, що передавання даних в цьому напрямку неможливе, і необхідний новий маршрут.

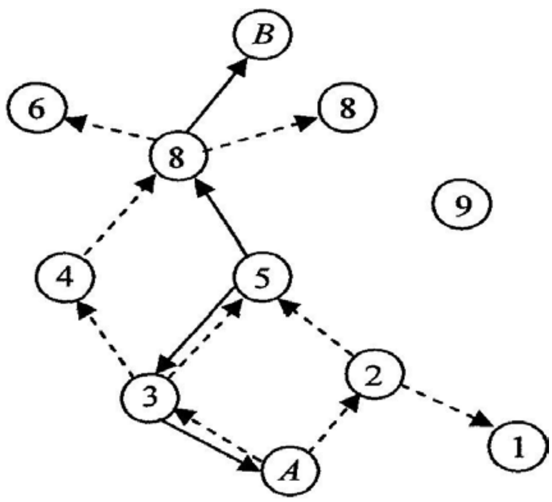


Рисунок 2.4 – Встановлення маршруту

AODV - це протокол маршрутизації, відповідно в ньому присутня маршрутна таблиця. Така таблиця створюється і для тимчасових коротких маршрутів. У таблиці присутні наступні поля:

– адреса призначення;

– порядковий номер одержувача;

– позначка про чинне порядковому номері;

– помітки про стан маршруту (діючий, неробочий, відновлюваний, відновлений);

– кількість ретрансляції (скільки було потрібно ретрансляцій для досягнення призначення);

– тривалість маршруту.

Протокол AODV розроблений для мобільних ad-hoc мереж розміром від десяти до тисячі вузлів, може працювати з низькими, середніми і високими швидкостями передавання даних, а також з різними рівнями трафіку даних.

Протокол AODV працює на прикладному рівні, використовуючи в якості транспортного протоколу UDP. Отримання вузлом відповіді RREP без надсилання відповідного запиту є нормальною ситуацією і отримав таку відповідь вузол повинен його обробити [19].

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

2.3.1 Модель AODV в NS-2

На рисунку 2.5 показано, що NS-2 складається з TCL, OTCL, TCLCL, планувальника подій і компонентів мережі. TCL (від англ. Tool Command Language «командна мова інструментів) використовується для створення різних сценаріїв моделювання в NS-2. OTCL позиціонується як керуюча мова, метою якої є побудова середовища моделювання. TCLCL виступає в якості з'єднання сценаріїв моделювання, написаних на TCL і C ++. NS2 це симулятор який координує моделі різних мережевих компонентів і планувальників подій, реалізованих в C ++. Для того, щоб створити модель мережі, OTCL використовує C ++ файли в сценарій моделювання, написаного в TCL і програми моделювання, згенеровані в OTCL.

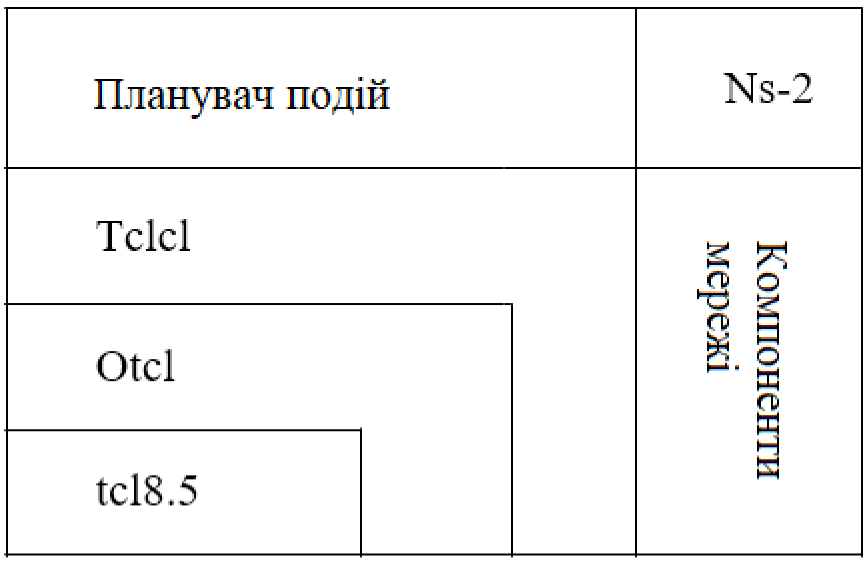


Рисунок 2.5 – Архітектура NS-2

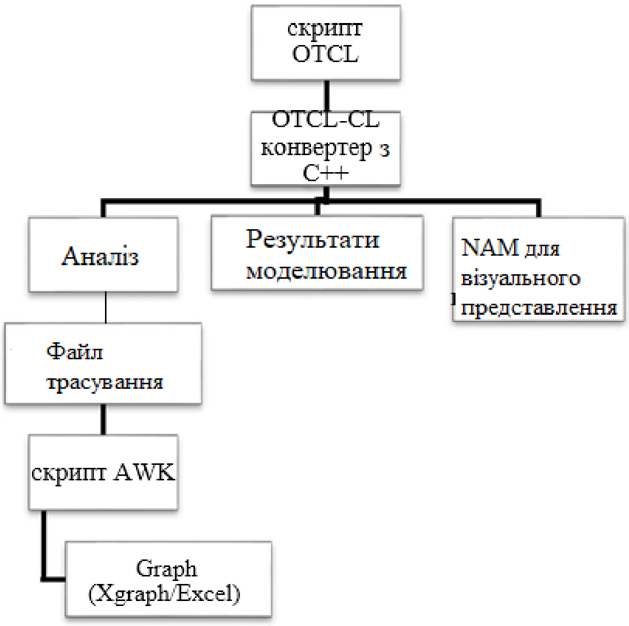


Рисунок 2.6 – Процедура створення моделі

На рисунку 2.6 показаний порядок виконання моделювання в NS-2. Перш за все створюється скрипт, який містить сценарій моделювання, а потім вводяться необхідні параметри. Скрипт моделювання це TCL файл, який включає в себе такі параметри як: використовуваний протокол, управління енергією, дані про фізичному рівні і т.д. Ці параметри створюються в NS-2 з використанням об'єктно-орієнтованого розширення в C ++. В даному випадку будемо використовувати протокол AODV як протокол маршрутизації в сценарії моделювання. Протокол AODV є C ++ файлом в каталозі NS-2. У цьому C ++ файлі протокол AODV пов'язаний з нашим сценарієм моделювання за допомогою OTCL.

2.3.2 Модель AODV в OMNeT++

OMNeT ++ має модульну структуру, архітектура якої показана на рисунку 2.7. Бібліотека компонентів моделювання складається з простих і складових модулів, написаних на C ++.

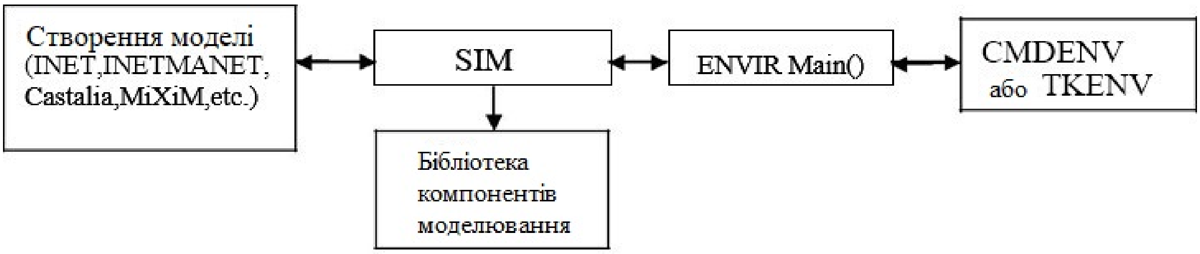


Рисунок 2.7 – Архітектура OMNeT++

Прості модулі об'єднуються в складові групами, за принципом блоків LEGO, створюючи таким чином об'єкти OMNeT ++. Ця властивість дуже зручна, так як програма має готові бібліотеки модулів для різних побудов.

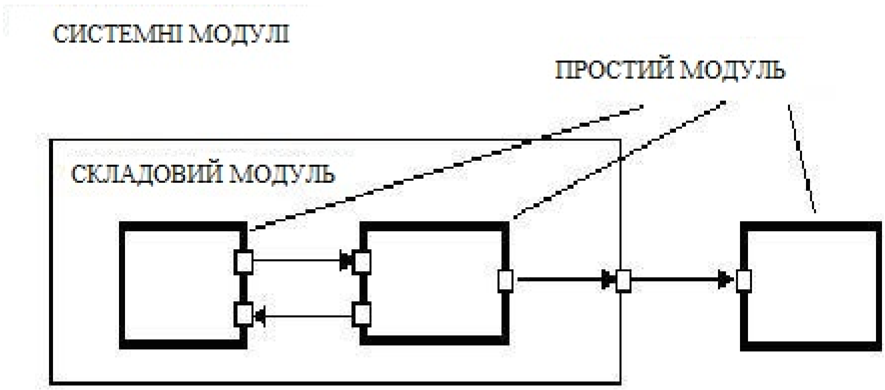


Рисунок 2.8 – Модулі OMNeT++

Моделювання виконується в середовищі, яке забезпечується бібліотеками призначеного для користувача інтерфейсу. (Envir, Cmdenv, Tkenv) -середовище контролює процес введення даних, виведення результатів, налагодження, візуалізації і анімації імітаційної моделі. [20]

В OMNeT ++ протокол AODV реалізується в бібліотеці компонентів моделювання, файл NED створює модулі і підмодулі.

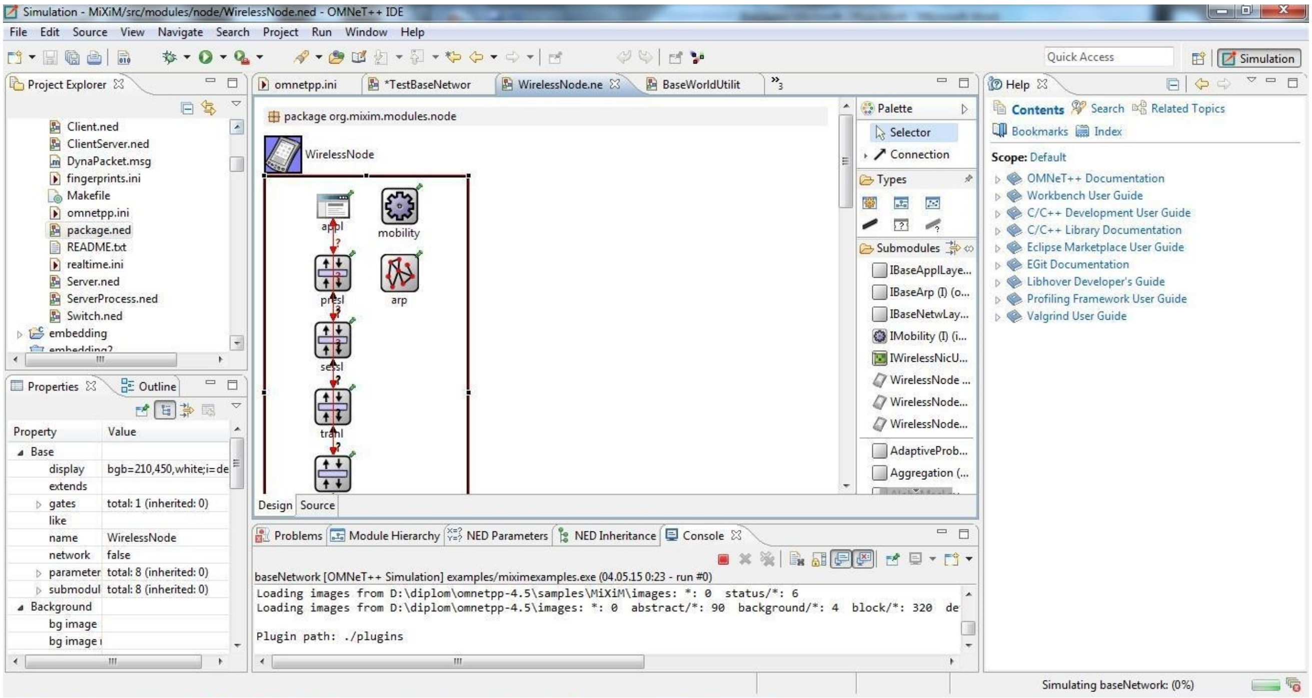


Рисунок 2.9 – Створення моделі в NED

Саме в файлі NED створюється моделювання, на основі нього конфігурується файл INI, для налаштування параметрів мережі, часу симуляції та інших параметрів.

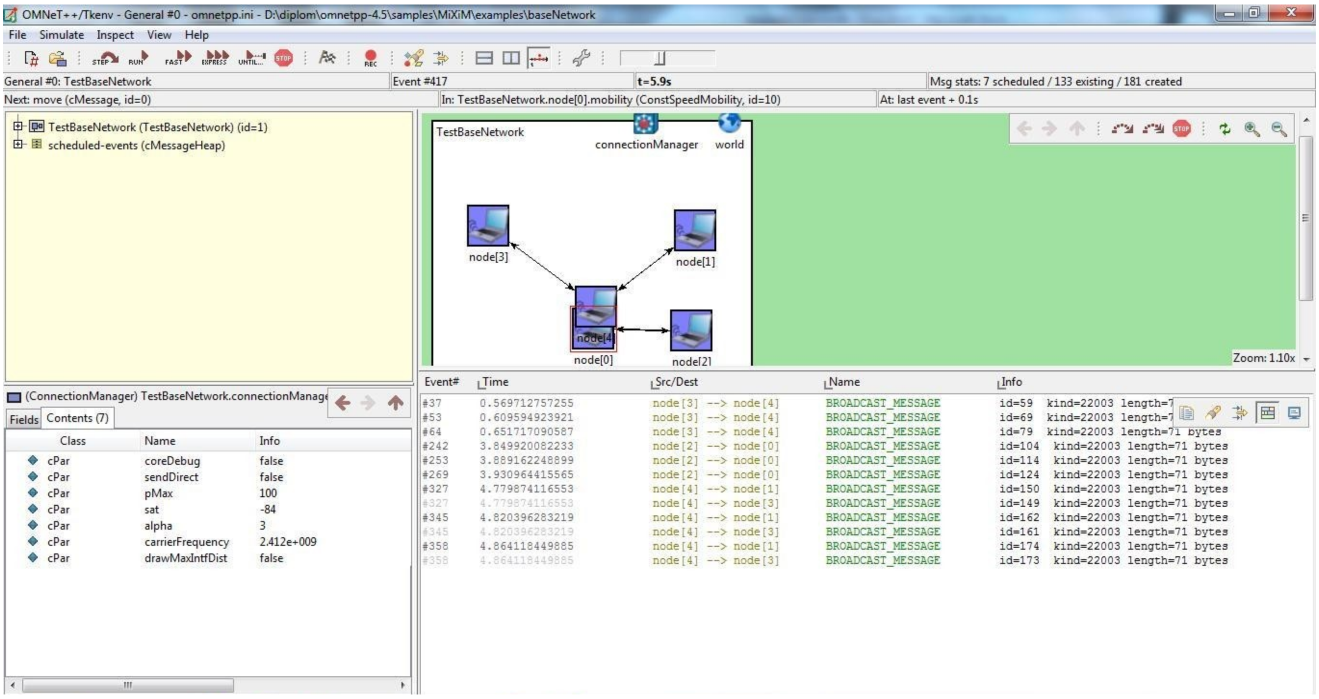


Рисунок 2.10 – Детальний процес створення імітації мережі

Висновки до розділу

1. Проаналізувавши основні інструменти для моделювання мереж безпроводових сенсорів, обрано симулятор OMNeT++. Даний симулятор має нескладний для освоєння інтерфейс, є безкоштовним для використання в академічних цілях, в ньому реалізовані основні функції мережного рівня ZigBee, відповідно, він повністю підходить для моделювання та дослідження безпроводової сенсорної мережі.

2. Алгоритм маршрутизації в безпроводових сенсорних системах повинен координувати роботу всіх вузлів; перенаправляти трафік та оновлювати таблиці маршрутизації у випадку виходу з ладу вузлів в мережі; змінювати маршрути при перенавантаженні частин мережі, тому вибір правильного алгоритму є критичним питання на етапі планування мереж.

3. Для моделювання мережі обрано протокол маршрутизації AODV. Даний протокол, у порівнянні з конкуруючими, є більш енергоефективним, дозволяє вузлам швидко встановлювати маршрути за новими напрямками і не вимагає від вузлів мережі зберігати в пам’яті неактивні маршрути.

3 РОЗРОБКА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ МАРШРУТИЗАЦІЇ В WSN

3.1 Створення моделі мережі

Сценарій моделювання мережі містить:

– маршрутизатор - виконує передавання даних, маршрутизує пакети.

– координатор - формує мережу, задає налаштування при підключенні приладу в мережу.

– вузли модулів - кінцеві пристрої, що живляться від батарей. Вузли представляють собою контролери або датчики. Кількість вузлів в мережі проектується в залежності від потреби конкретного додатку [21].

Рисунок 3.1 – Візуалізація сценарію моделювання

Робота маршрутизатора і координатора полягає в організації з'єднань між вузлами в мережі.

Імітаційне моделювання буде виконуватися для семи різних відрізків часу при постійній швидкості.

Таблиця 3.1 – Параметри імітаційного моделювання

Параметр	Значення
Кількість вузлів	50
Відрізок часу	0, 20, 40, 80, 120, 160, 200 секунд
Швидкість	20 м/сек
Час симуляції	200 сек.

Моделювання AODV протоколу буде проведено відповідно до параметрів, вказаних в таблиці 3.1. На рисунку 3.2 зображено графічне представлення мережі.

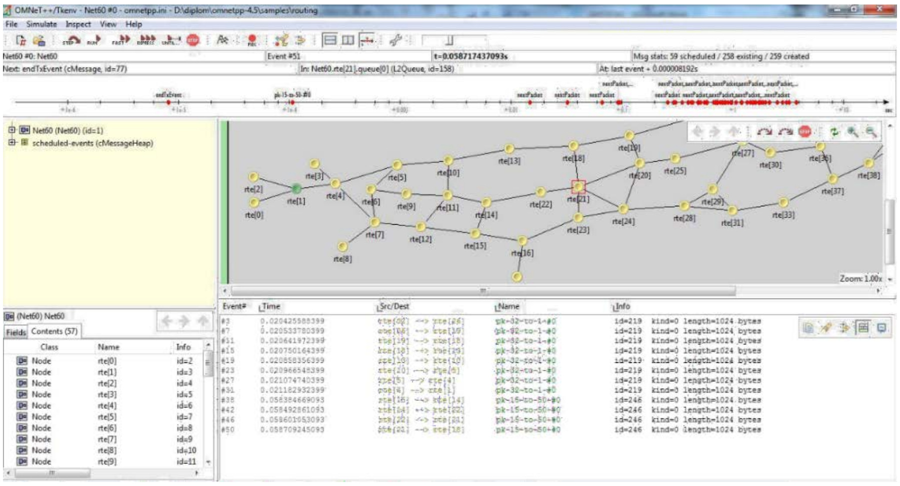


Рисунок 3.2 – Графічне представлення мережі

За результатами проведеного моделювання, проаналізуємо отримані дані, об'єднавши їх в порівняльні графіки

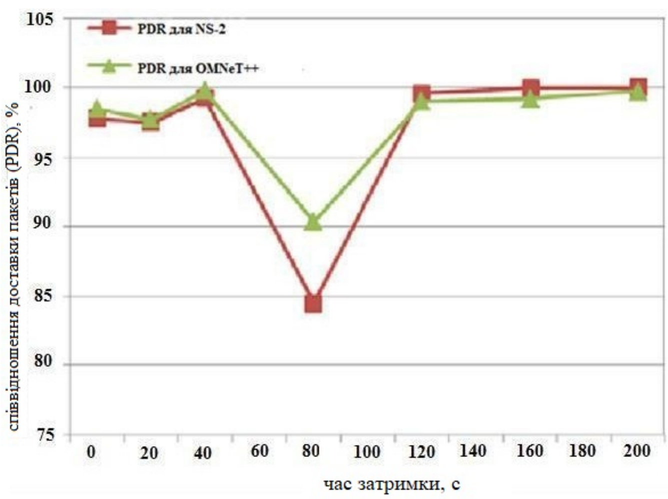


Рисунок 3.3 – PDR для NS-2 і OMNeT++

На рисунку 3.3 показані співвідношення доставки цілісності пакетів (PDR) отримані за допомогою симуляторів. Можна помітити, що співвідношення PDR схоже у всіх точках. Але якщо розглядати значення PDR на різних відрізках часу, видно, що найменше значення досягається в OMNeT ++.

На рисунку 3.4 відображені результати дослідження пропускної здатності отримані за допомогою двох симуляторів

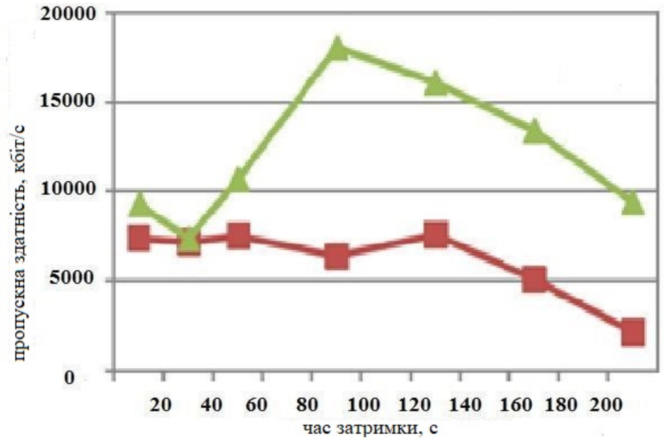


Рисунок 3.4 – Пропускна здатність для NS-2 и OMNeT++

При виконанні моделювання та аналізі результатів, була розглянута внутрішня структура OMNeT ++ і NS-2. Проаналізувавши симулятори, в тому числі їх вихідний код, виявлені відмінності в реалізації, тобто, неможливо відтворювати сценарій моделювання одного симулятора в іншому. Також показано, що навіть в разі вибору однакових параметрів, для OMNeT ++ і NS-2 будть отримані різні результати. Це відбувається через різницю в роботі симуляторів в процесі проведення моделювання.

3.2 Програмна реалізація моделі безпроводового зв’язку

MiXiM в OMNeT ++ – це середовище моделювання, розроблене для мобільних і фіксованих безпроводових мереж (безпроводові сенсорні мережі, натільні комп'ютерні мережі, ad-hoc мережі, транспортні мережі і т. д.). [21]

В графічному редакторі OMNET++ середовище моделювання MiXiM представлено наступним чином (наведено опис функцій, які будуть безпосередньо застосовуватись при моделюванні сенсорної мережі).

Структура API класів MiXiM:

а) Modules – найважливіші класи, згруповані за функціональністю:

1) applLayer – модулі прикладного рівня;

2) netwLayer – модулі мережевого рівня;

3) nic – мережеві інтерфейси;

4) mobility – модулі, що підтримують мобільність хостів;

5) utils – утиліти;

6) base – базові модулі MiXiM;

7) mapping – математичне відображення;

8) protocols – класи для різних протоколів, реалізованих в MiXiM;

9) Power consumption – енергоспоживання.

б) Classes: sensorApplLayer – тест-клас прикладного рівня. Включає в себе наступні аргументи:

1) Packets: кількість надісланих пакетів в додатку;

2) trafficType: інтервал часу між генерацією двох пакетів (значення - "періодичний", "екпоненціальний");

3) trafficParam: параметри для trafficType.

в) mobility: MassMobilty – опис мобільної моделі (мота), що здійснює випадкові пересування.

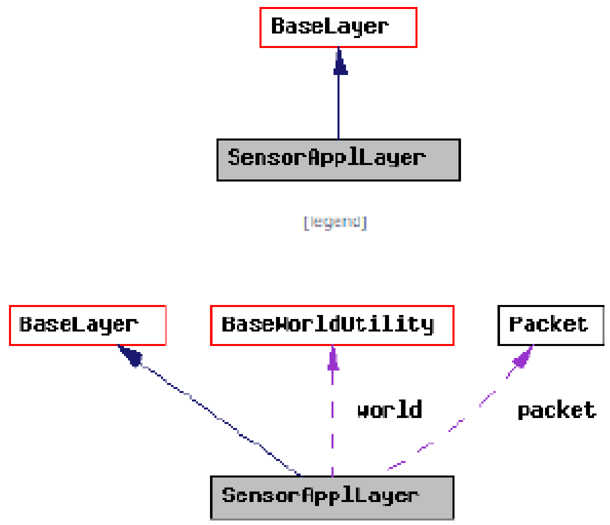


Рисунок 3.5 – Схема для sensorApplLayer

Для моделювання мережі необхідно створити новий проект. В меню обираємо Files > New > New OMNeT++ Project:

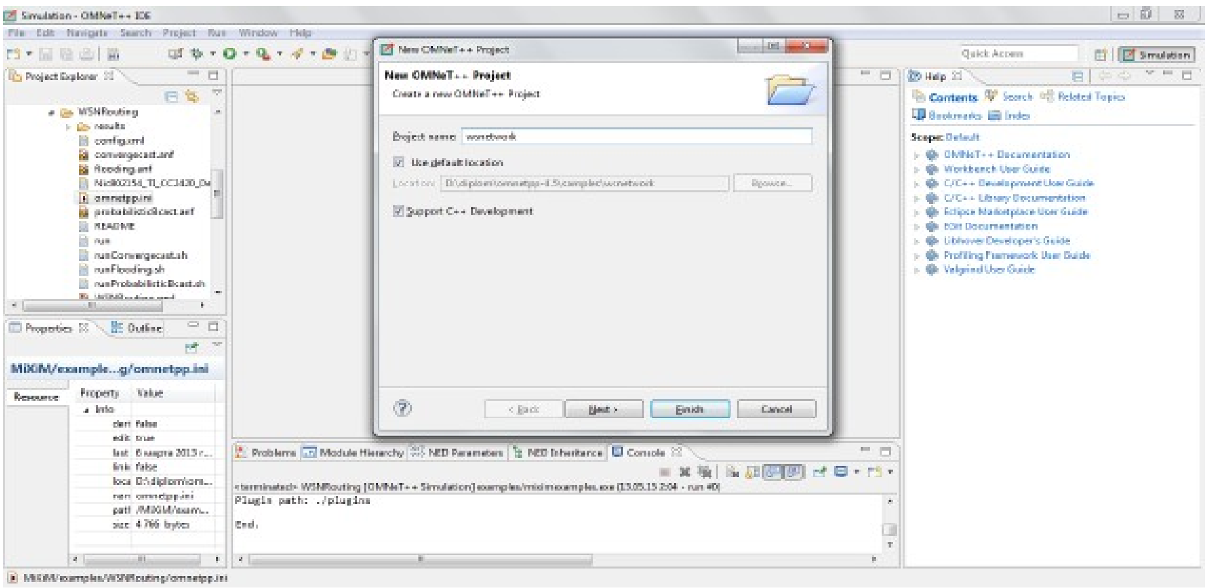


Рисунок 3.6 – Створення нового проекту

Натискаємо next. У наступному вікні вибираємо папку з інструментами MiXiM.

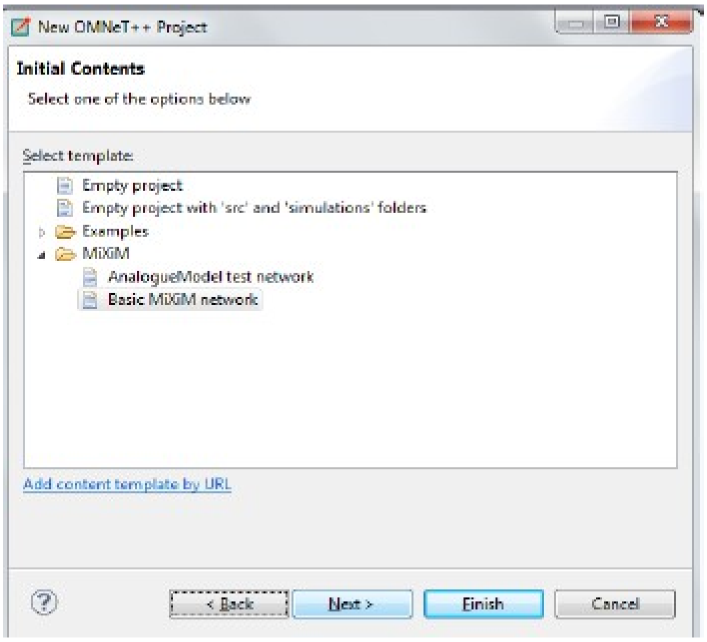


Рисунок 3.7 – Інструменти MiXiM

Виконуємо налаштування відповідно до параметрів сенсорної мережі.

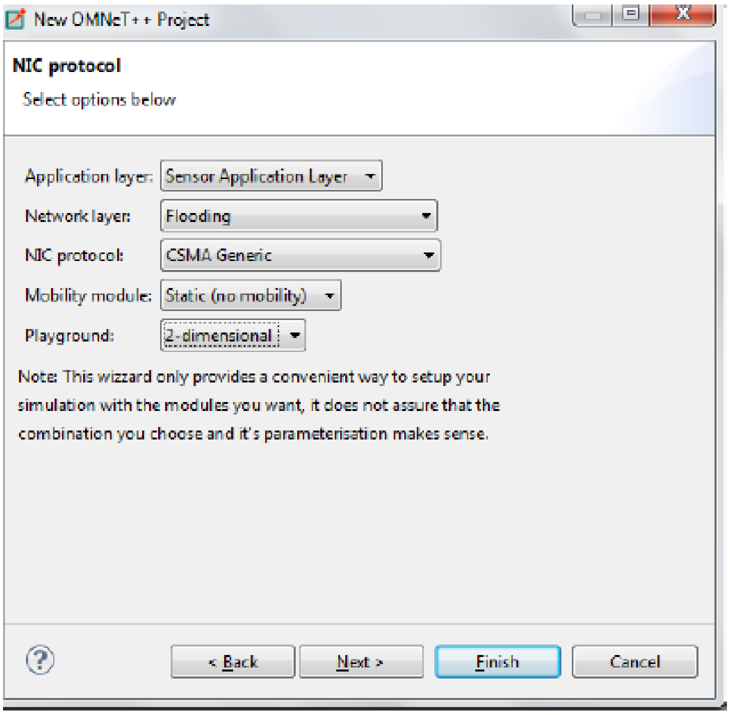


Рисунок 3.8 – Налаштування моделі сенсорної мережі

Файл конфігурації починається з розділу [General]. У ньому вказуються загальні параметри для всіх сценаріїв.

Перед моделюванням мережі необхідно визначити наступні параметри:

– кількість станцій (numNodes);

– час симуляції (sim-time-limit);

– налаштування протоколу канального рівня.

Моделювання буде проводитися для 10 пристроїв (numNodes = 10) протягом 60 хвилин (sim-time-limit = 60 min).

Всі пристрої використовують в якості протоколу канального рівня протокол IEEE 802.15.4 (mixim.modules.node.Host802154A;). Так як в даному випадку моделюється пересувний датчик, вибираємо параметр "Mass Mobility" (додаток 1).

У графічному режимі топологія мережі в початковий момент часу t = 0 буде виглядати наступним чином:

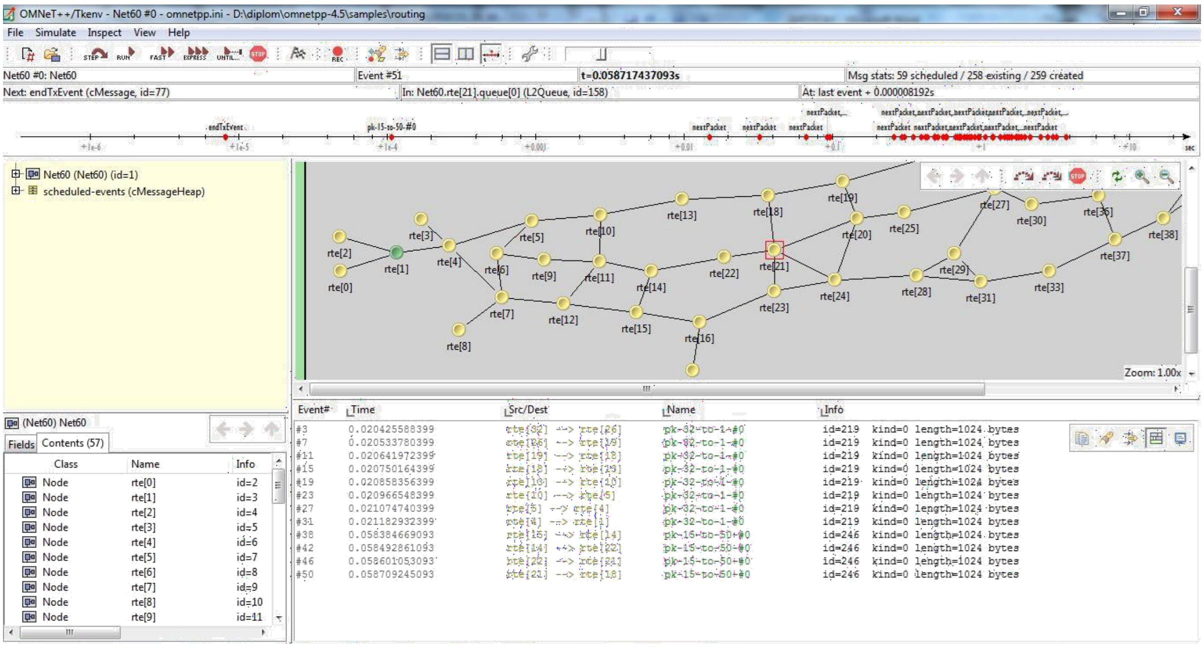


Рисунок 3.9 – Топологія мережі

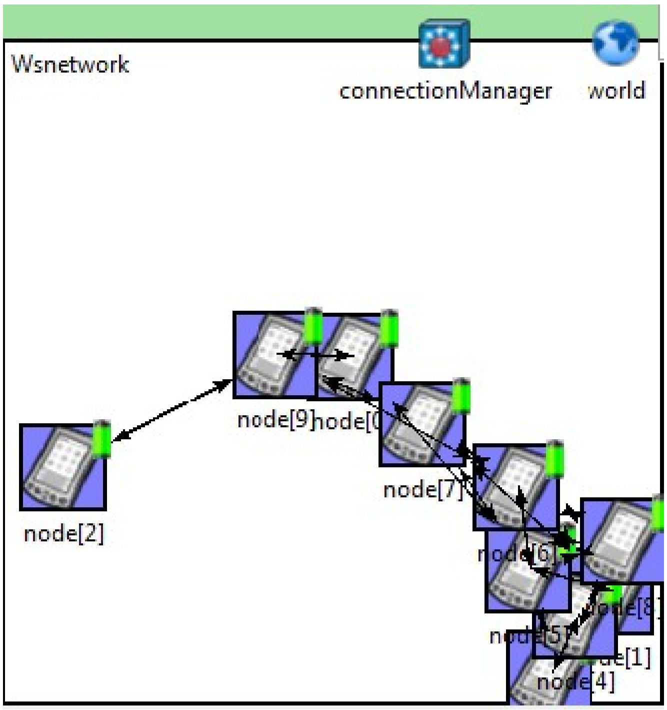


Рисунок 3.10 – Топологія мережі в початковий момент часу (перед запуском моделювання)

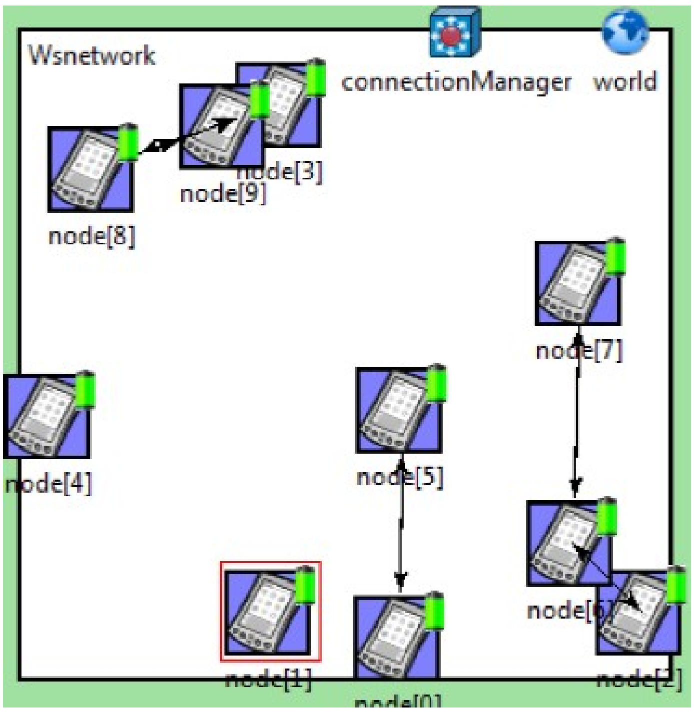


Рисунок 3.11 – Положення сенсорів через 15 хвилин

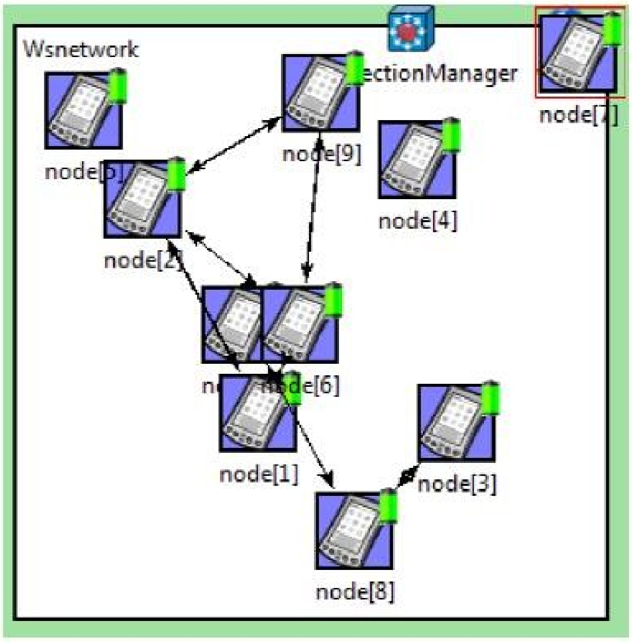


Рисунок 3.12 – Положення датчиків через 45 хвилин

Протокол AODV розроблений для мобільних ad-hoc мереж розміром від десяти до декількох тисяч вузлів, може працювати з низькими, середніми і високими швидкостями передавання даних, а також з різними рівнями трафіку.

Моделювання стаціонарних датчиків також буде проводитися для 10 пристроїв (numNodes = 10) протягом 60 хвилин (sim-time-limit = 60 min). Всі пристрої використовують в якості протоколу канального рівня протокол IEEE 802.15.4 (mixim.modules.node.Host802154A;). Так як в даному випадку моделюється стаціонарний вузол, вибираємо параметр "StationaryMobility".

У графічному режимі топологія мережі буде виглядати наступним чином:

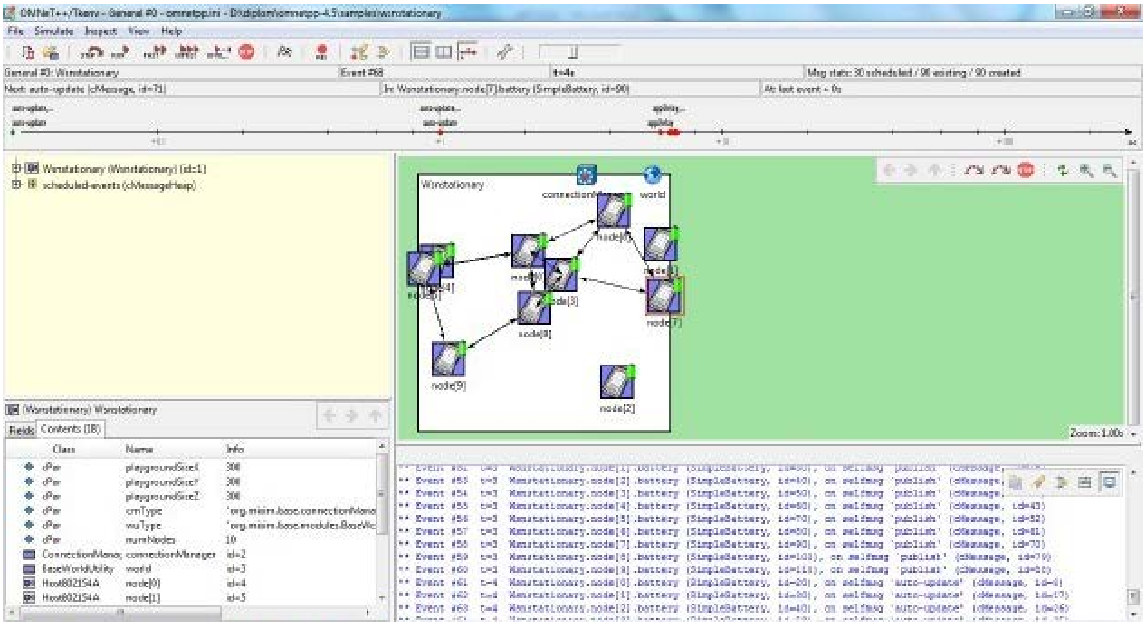


Рисунок 3.13 – Графічне представлення мережі стаціонарних сенсорів

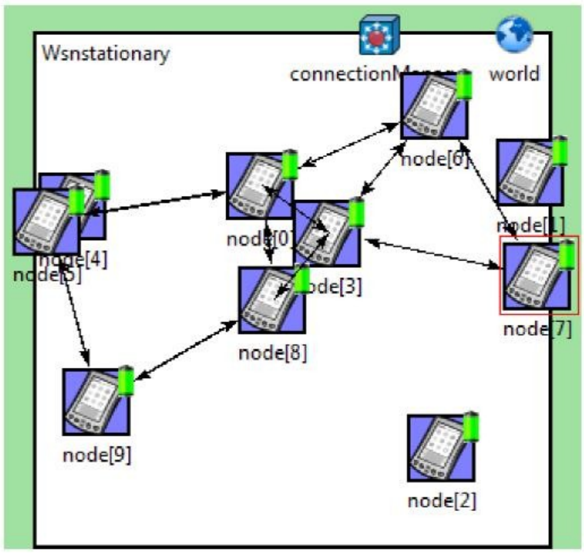


Рисунок 3.14 – Топологія мережі

Таким чином, проведено моделювання стаціонарних і мобільних датчиків. Для того щоб було зручно проводити порівняльну характеристику, датчики розташовуються в приміщенні з однаковими розмірами. Були проведені налаштування для датчиків сенсорної мережі. Всі пристрої використовують в якості протоколу канального рівня протокол IEEE 802.15.4. Моделювання проводилося для десяти датчиків протягом однієї години. Для створення безпроводові сенсорної мережі використовувалися інструменти MiXiM.

Схема алгоритму на рисунку 3.15 показує, яким чином виконувалось моделювання безпроводової сенсорної мережі в середовищі MiXiM.

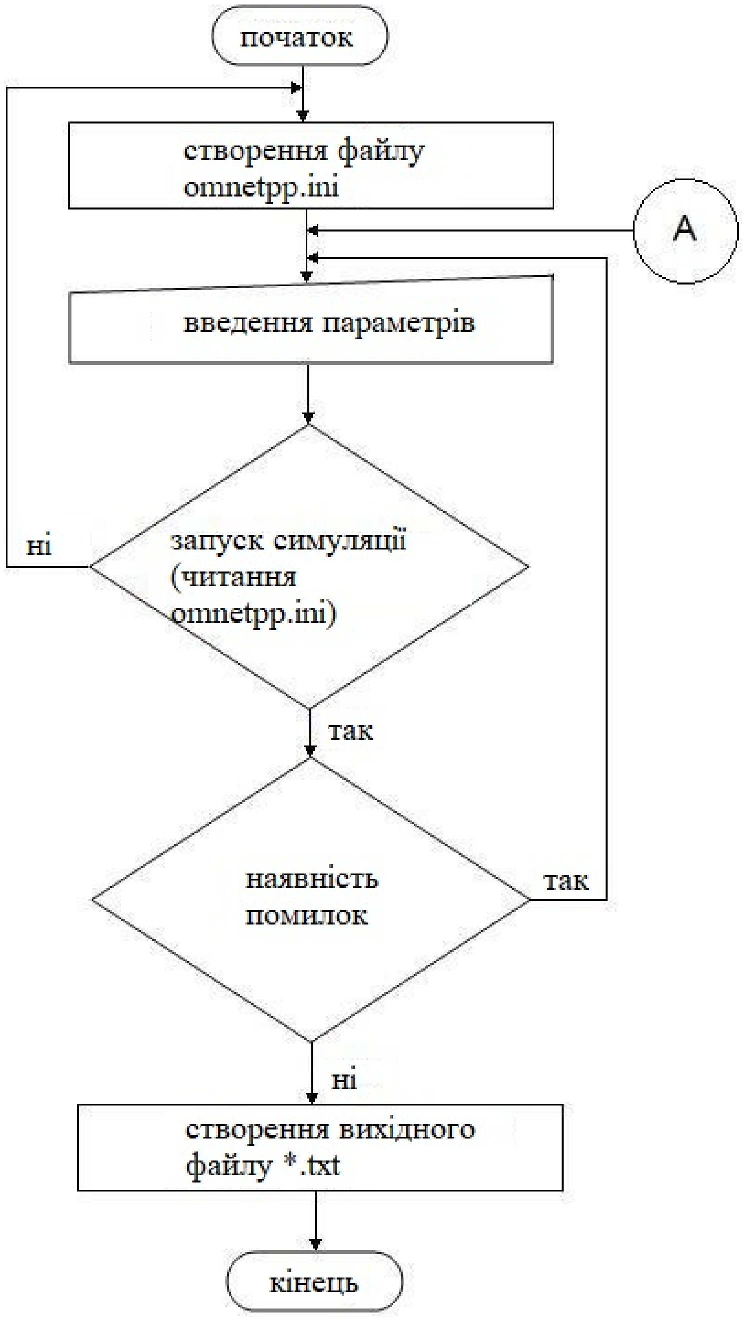


Рисунок 3.15 – Структура роботи системи

Висновки до розділу

1. В процесі створення моделі безпроводової сенсорної мережі досліджено внутрішню структуру програмних засобів OMNeT ++ і NS-2. Проаналізувавши симулятори, в тому числі їх вихідний код, виявлено відмінності в їх реалізації, тобто неможливо відтворювати сценарій моделювання одного симулятора в іншому. Також показано, що навіть в разі вибору однакових параметрів, для OMNeT ++ і NS-2 буде отримано різні результати. Це відбувається через різницю в роботі симуляторів в процесі проведення моделювання.

2. Розроблено модель мережі стаціонарних і мобільних датчиків. Проведено налаштування параметрі датчиків сенсорної мережі в програмному середовищі OMNeT++. Всі пристрої використовують як протокол канального рівня протокол IEEE 802.15.4. Моделювання проведено для десяти датчиків протягом однієї години. Для створення безпроводові сенсорної мережі використано інструменти MiXiM.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ WSN

4.1 Аналіз затримок в мережі

Отримавши результати симуляції, перейдемо до аналізу роботи мережі. Для отримання файлу, що містить результати проведеного моделювання вибираємо File> New> Analysis File. Розглянемо, наприклад, тривалість затримок у вузлах (latency). Затримки в мережі ZigBee залежать від топології мережі і можуть істотно варіюватися в залежності від поточного рівня перешкод і напруженості трафіку [22]. В OMNeT ++, при аналізі отриманих даних, показано мінімальні і максимальні затримки в вузлах.

Таблиця 4.1 – Затримки у стаціонарних вузлах (latency)

Стаціонарні вузли			
Максимальна затримка, с		Мінімальна затримк, с	
node=0	3,86	node=0	0,28
node=1	0	node=1	0
node=2	0	node=2	0
node=3	5,85	node=3	0,24
node=4	0	node=4	0
node=5	4,61	node=5	0,04
node=6	6,18	node=6	0,24
node=7	6,18	node=7	0,28
node=8	3,97	node=8	0,04
node=9	5,57	node=9	0,41

Таблиця 4.2 – Затримки у мобільних вузлах (latency)

Мобільні вузли			
Максимальні затримки		Мінімальні затримки	
node=0	0	node=0	0
node=1	1,06	node=1	0,12
node=2	1,44	node=2	0,13
node=3	2,87	node=3	0,48
node=4	0	node=4	0
node=5	2,39	node=5	0,13
node=6	1,06	node=6	0,12
node=7	1,54	node=7	1,54
node=8	0,76	node=8	0,13
node=9	1,22	node=9	0,13

Графічне відображення даних за допомогою OMNeT++ для стаціонарних вузлів:

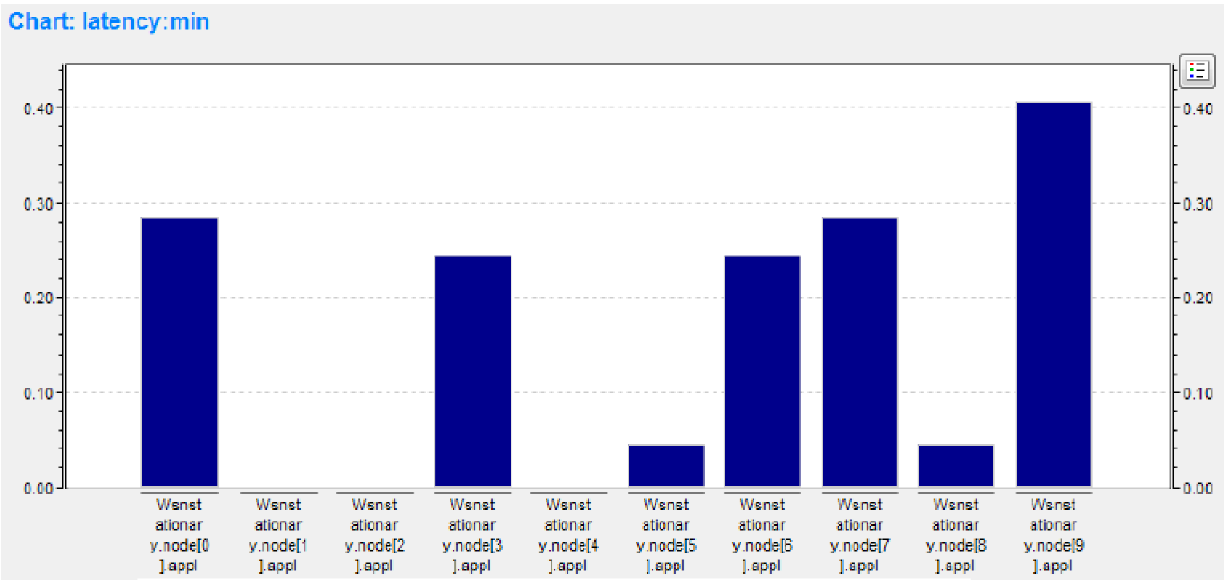


Рисунок 4.1- Мінімальні затримки в стаціонарних вузлах

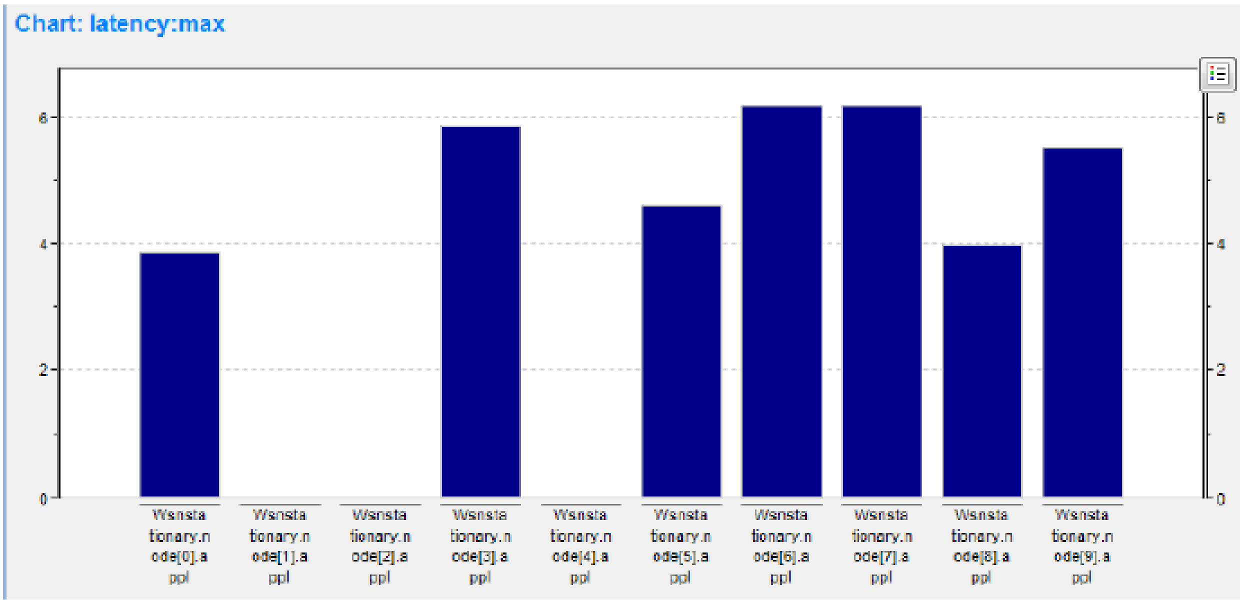


Рисунок 4.2 – Максимальні затримки в стаціонарних вузлах

Графічне відображення даних за допомогою OMNeT++ для мобільних вузлів:

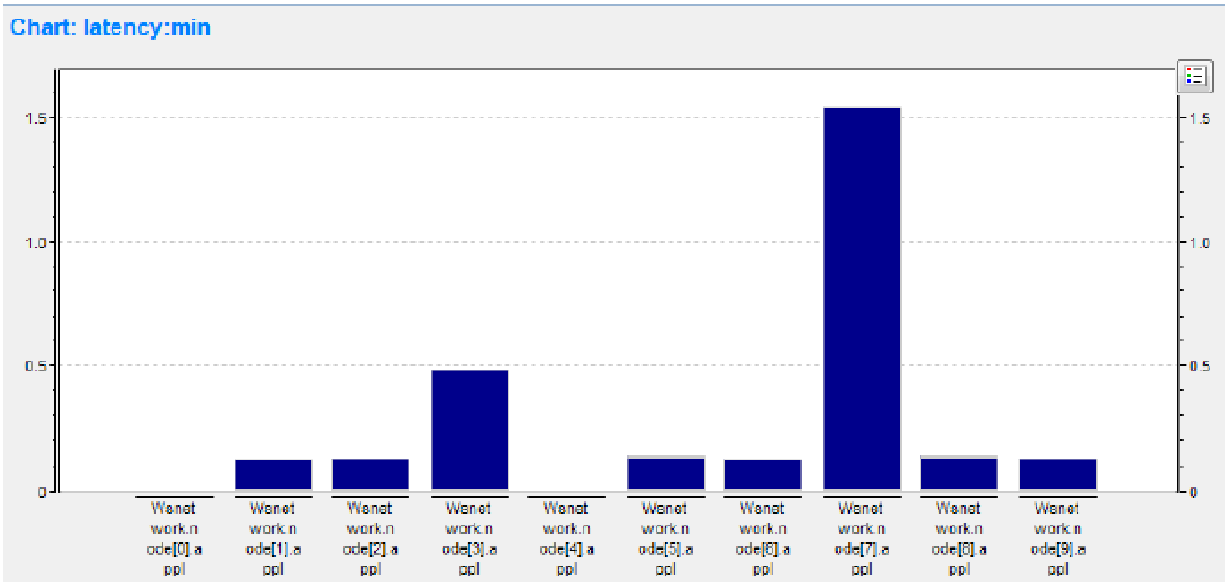


Рисунок 4.3 – Мінімальні затримки в мобільних вузлах

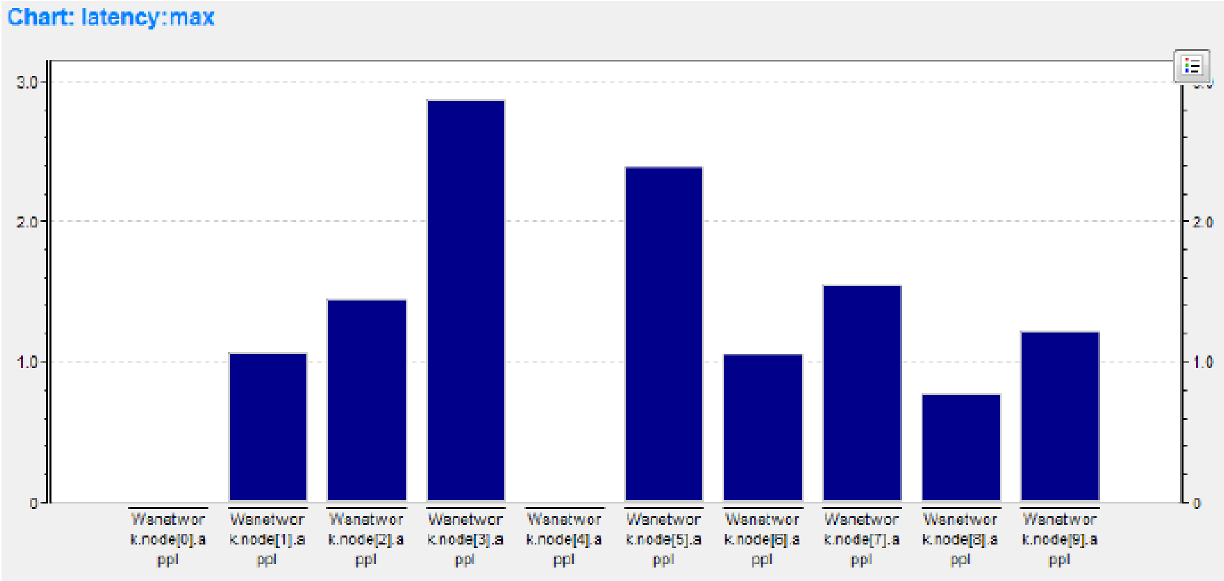


Рисунок 4.4 – Максимальні затримки в мобільних вузлах

Для наглядного відображення продемонструємо отримані результати у вигляді графіків.

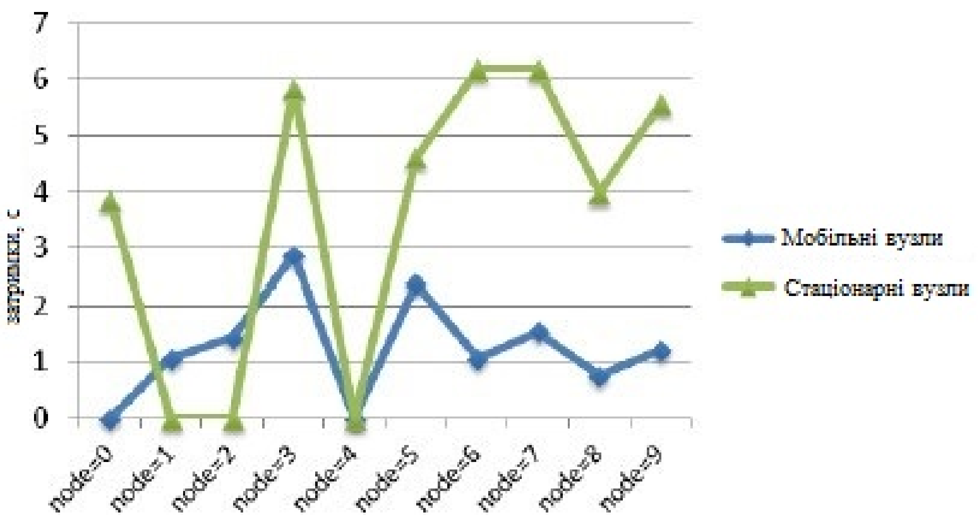


Рисунок 4.5 – Максимальні затримки при використанні стаціонарних і мобільних вузлів

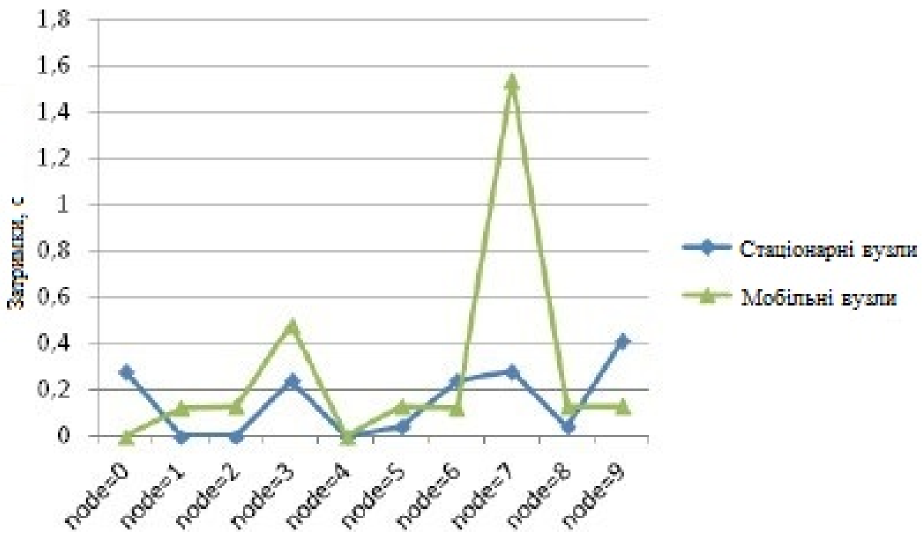


Рисунок 4.6 – Мінімальні затримки при використанні стаціонарних та мобільних вузлів

Затримки для мобільних датчиків менші, проте їх показники менш стабільні, що пов'язано з пересуванням їх по периметру приміщення, відповідно, в різні моменти часу, датчики могли перебувати або дуже близько один до одного і передавати повідомлення безперешкодно, або знаходитись на відносно далекій відстані і передавати повідомлення зі значною затримкою. Таку ситуацію можна спостерігати на рисунку 4.6.

4.2. Стандартне відхилення у вузлах мережі

Джерелами завад і відхилень при передаванні в неліцензованих діапазоні можуть бути пристрої, що працюють в тому ж діапазоні. Якщо використовуються радіочастотні пристрої таких типів, пропускна здатність безпроводової мережі істотно зменшується через повторне передавання, а також через те, що пристрої конкурують між собою за право доступу до середовища. Саме тому необхідно уважно підходити до планування та розгортання мережі і враховувати інші пристрої, які можуть створювати взаємні перешкоди при розгортанні мережі. Проблема з ZigBee полягає в тому, що пристрої Wi-Fi також працюють в діапазоні 2,4 Гц і трафік Wi-Fi з трафіком ZigBee можуть створювати взаємні перешкоди.

Ще одна проблема ZigBee - те, що при заявленій швидкості в 250 кбіт / с, реальна швидкість є набагато меншою, не зважаючи на те, що мережа має фіксовану швидкість в радіоканалі. Це відбувається при мережевій взаємодії вузлів мережі, виникають затримки на підтвердження пакетів. Крім того, обробка даних на нижніх рівнях стеку також займає певний час [22].

Розглянемо стандартне відхилення затримок в мережі (stddev). Стандартне (середньоквадратичне) відхилення показує розкид значень випадкової величини щодо її середнього значення. Чим більше розкид, тим складніше керувати трафіком (приймати пакети в потрібному порядку, уникати дублювання пакетів).

Таблиця 4.3 – Стандартне відхилення у вузлах

Стаціонарні вузли		Мобільні вузли	
node=0	0,94	node=0	0
node=1	0	node=1	0,31
node=2	0	node=2	0,46
node=3	1,58	node=3	0,99
node=4	0	node=4	0
node=5	1,42	node=5	0,79
node=6	1,85	node=6	0,29
node=7	1,98	node=7	0
node=8	1,24	node=8	0,35
node=9	1,58	node=9	0,41

З отриманих гістограм видно, що вузли 1,2,4 у стаціонарних датчиків і 0,4,7 у мобільних не отримали дані, отже відхилення цих вузлів становить 100%.

Представимо для зручності дані графічно:

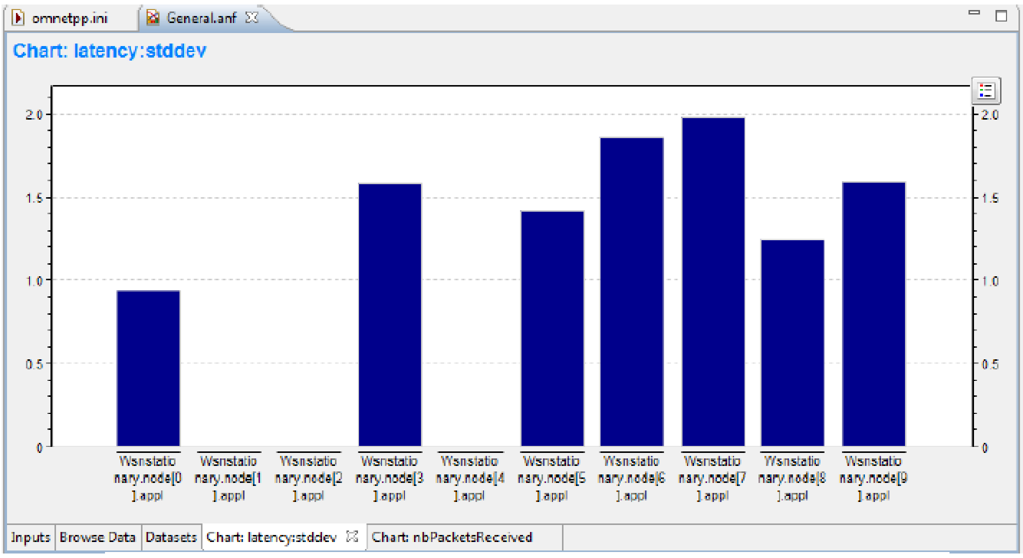


Рисунок 4.7 – Стандартне відхилення при використанні стаціонарних вузлів

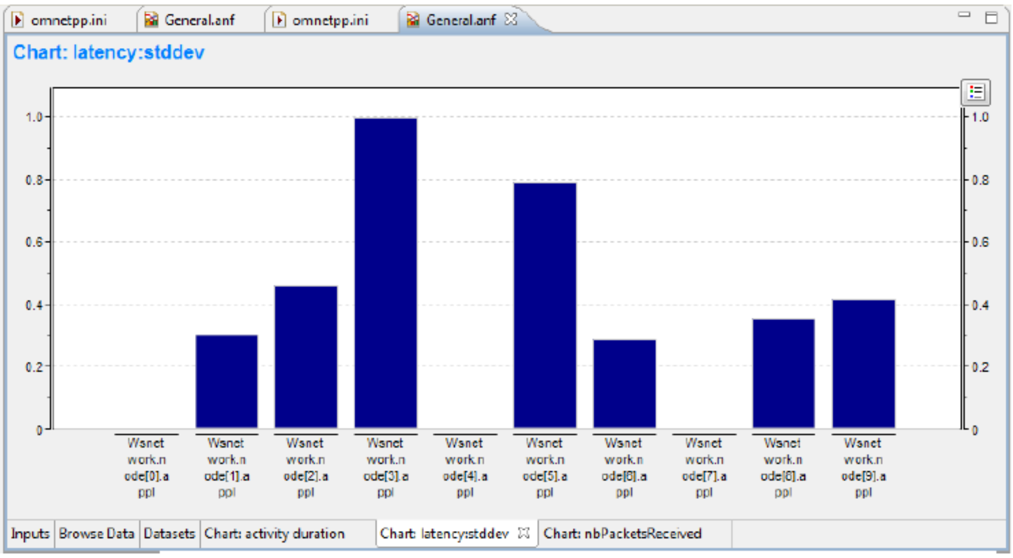


Рисунок 4.8 – Стандартне відхилення при використанні мобільних вузлів

Продемонструємо ці дані у вигляді графіків:

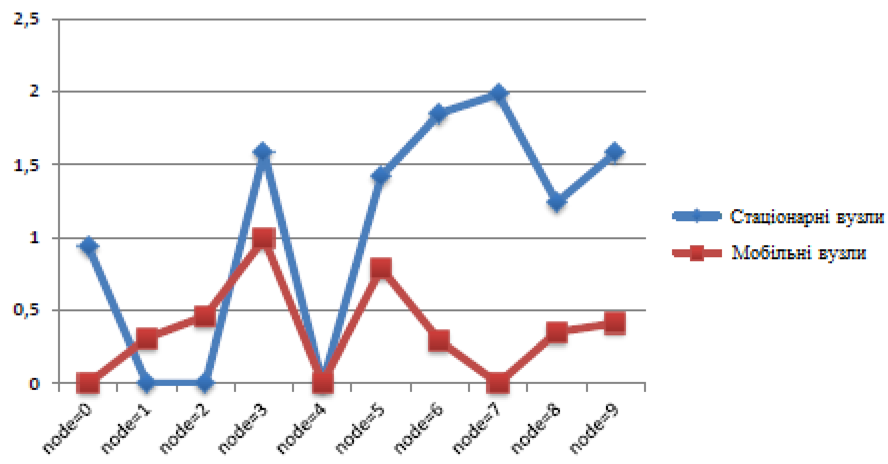


Рисунок 4.9 – Стандартне відхилення стаціонарних і мобільних вузлів

4.3 Передавання пакетів у мережі

Формат переданих пакетів в мережах ZigBee:

– пакет даних (використовується для передавання даних);

– пакет підтвердження (використовується для підтвердження успішного передавання даних);

– пакет MAC команди (використовується для організації пересилань керуючих MAC команд);

– сигнальний пакет (використовується координатором для організації синхронізованого доступу).

Для того, щоб контролювати послідовність передавання пакетів використовується нумерація (Data sequence number), контрольна сума послідовності кадру забезпечує безпомилкове передавання даних (Frame Check Sequence).

Пакет підтвердження забезпечує зворотний зв'язок від одержувача до відправника про успішне безпомилкове передавання пакету даних. Пакет MAC-команди потрібен для віддаленого управління і конфігурації мережевих пристроїв. Дозволяє координатору мережі налаштовувати окремо всі мережеві пристрою незалежно від розмірів мережі. [23]

Сигнальний пакет потрібен для того, щоб активувати кінцеві пристрої, оскільки вони активні тільки в періоди прийому пакетів синхронізації.

Таблиця 4.4 – Кількість отриманих пакетів

Стаціонарні вузли		Мобільні вузли	
node=0	18	node=0	0
node=1	0	node=1	9
node=2	0	node=2	9
node=3	16	node=3	6
node=4	0	node=4	0
node=5	17	node=5	6
node=6	16	node=6	9
node=7	16	node=7	1
node=8	17	node=8	3
node=9	17	node=9	9

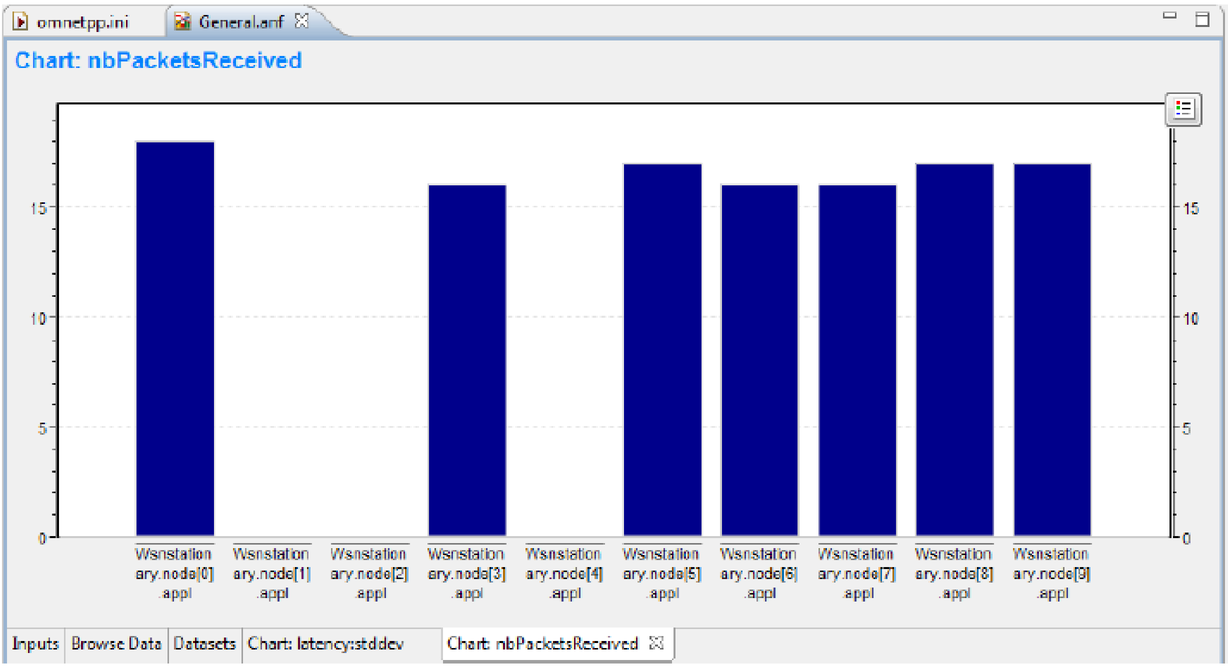


Рисунок 4.10 – Кількість отриманих пакетів стаціонарними вузлами

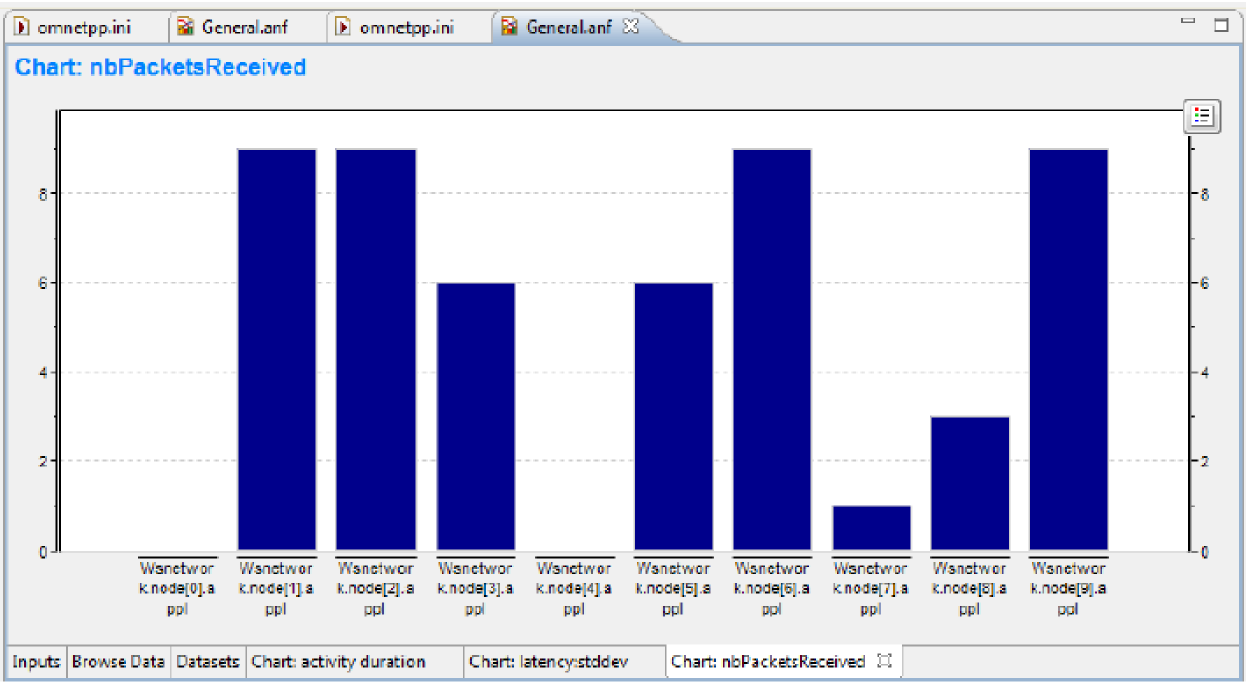


Рисунок 4.11 – Кількість отриманих пакетів мобільними вузлами

Як видно з отриманих даних, в середньому кожен вузол отримав при використанні стаціонарних датчиків 15 пакетів за період (для мобільних датчиків це 8 пакетів), тобто не всі передані пакети досягли точки призначення, деякі були втрачені. Рисунки 4.10, 4.11 показують, що ймовірність втрат для мобільних датчиків в два рази вище, ніж для стаціонарних. Це пов'язано з різними чинниками, такими як зменшення пропускної здатності даних мережі, тимчасові переривання або повний розрив безпроводового з'єднання, некоректна робота датчика.

Для наглядності представимо отримані дані у вигляді графіків.

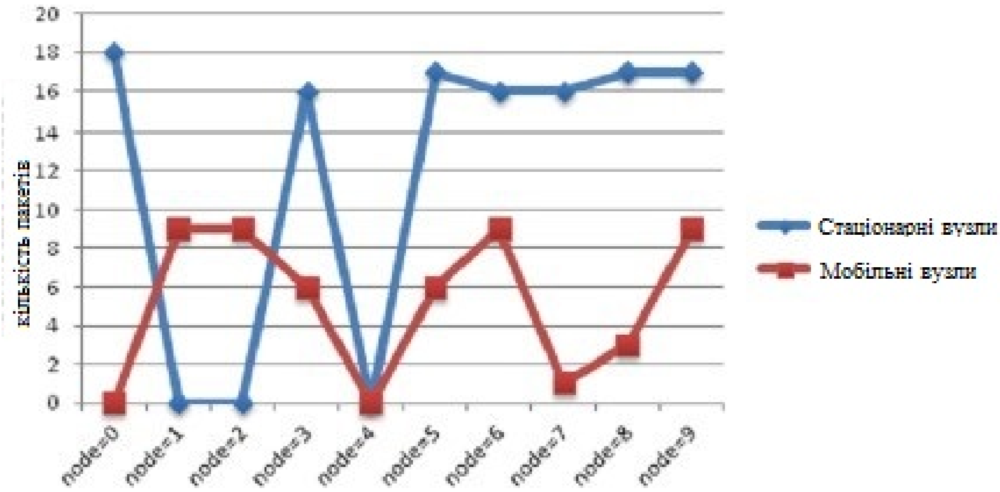


Рисунок 4.12 – Кількість отриманих пакетів для стаціонарних та мобільних вузлів

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок про те, що для реального каналу діапазон прийому розділений на три області: надійного прийому, перехідну і відсутності зв'язку. При цьому перехідна область має відносно велику протяжність і характеризується значною варіацією і асиметрією якості зв'язку.

4.4 Завадостійкість при передаванні

Перешкоди, які виникають при одночасній роботі безпроводових пристроїв, що знаходяться в безпосередній близькості один від одного, можуть привести до значного погіршення характеристик передавання. Необхідно виявити кількість кадрів з перешкодами і без перешкод, щоб зробити висновок про працездатність мережі в цілому.

Таблица 4.5 – Передавання кадрів при використанні мобільних вузлів

Frames without interference (кадри без перешкод)		Frames with interference (кадри з перешкодами)	
node=0	–	node=0	–
node=1	33	node=1	1
node=2	28	node=2	1
node=3	13	node=3	–
node=4	–	node=4	–
node=5	13	node=5	–
node=6	35	node=6	–
node=7	1	node=7	–
node=8	9	node=8	–
node=9	28	node=9	2

Таблица 4.6 – Передавання кадрів при використанні стаціонарних вузлів

Frames without interference (кадри без перешкод)		Frames with interference (кадри з перешкодами)	
node=0	72	node=0	1
node=1	–	node=1	–
node=2	–	node=2	–
node=3	71	node=3	1
node=4	–	node=4	–
node=5	34	node=5	–
node=6	54	node=6	–
node=7	35	node=7	–
node=8	53	node=8	–
node=9	38	node=9	–

Так як співвідношення помилкових кадрів до кадрів без помилок велике, можна сказати, що мережа функціонує нормально. У мобільних вузлах більше кадрів з перешкодами, що пов'язано з їх постійним переміщенням по периметру, відповідно вузли не завжди знаходяться в прямій видимості, з'являються перешкоди на шляху поширення. Також проходження сигналу залежить від кута попадання на поверхню об'єкта.

4.5 Живлення вузлів

Однією з головних вимог до WSN є автономність, виконати яку можна, зменшивши енергоспоживання кожного вузла. Час життя вузла WSN обмежений часом життя джерела живлення, і завдання зниження споживання енергії як ніколи стає важливим, а ефективність його вирішення безпосередньо впливає на подальший розвиток безпроводових сенсорних мереж [24].

Споживання енергії вузла сенсорної мережі складається з витрат енергії самого датчика і споживання каналу передавання даних.

Велику частину часу сенсорний датчик знаходиться в режимі зниженого енергоспоживання, так званому режимі «сну». Витрати енергії відбуваються під час приймання або передавання даних, виконання контрольно-вимірювальних функцій, а також при прослуховуванні каналу, на наявність способів передавання даних.

Розглянути режим роботи кожного вузла з точки зору споживання енергії можна за допомогою енергоциклограм.

Робота одного енергоциклу для вузла мережі:

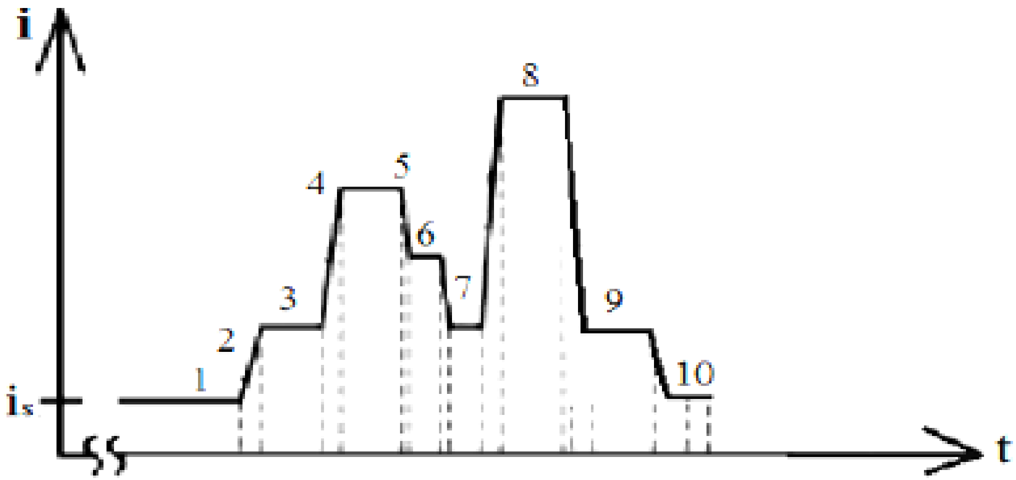


Рисунок 5.14 – Енергоживлення вузла

Де:

1 – Режим очікування, мінімальне використання енергії;

2 – увімкнення приймача за час t з витратою енергії;

3 – приймання сигналу активації;

4 – вимірювання параметрів, що контролюються;

5 – обробка результатів вимірювання;

6 – увімкнення передавача;

7 – прослуховування каналу на наявність несучою;

8 – передавання результатів вимірювань;

9 – увімкнення передавача;

10 – режим очікування.

Таким чином видно, що основна частина енергії витрачається на приймання, прослуховування і передавання даних, а не на обробку або збереження даних.

Розглянемо різні підходи щодо зниження енергоспоживання:

1) Ключовим моментом енергоефективних мережевих операції є можливість помістити якомога більше вузлів в режим «сну», для збільшення тривалості їх роботи від батареї. Перебуваючи в активному стані, сенсорний вузол може перейти в режим «сну» (sleep mode), що дозволяє йому знизити споживання енергії. Сенсорний вузол переходить в даний режим між сеансами приймання / передавання даних. Робочі режими складаються з циклів, кожен цикл складається

з періодів сну і прослуховування. Найбільші витрати енергії припадають на передавання та приймання даних. Тобто одним з можливих варіантів зниження енергоспоживання є перехід датчика з активного режиму в режим «Sleep», при якому споживання енергії мінімальне [25].

2) У WSN з використанням технології ZigBee можливий варіант стиснення інформації перед її відправленням. При стисненні даних зменшується час передавання даних, тому зменшується час перебування в ефірі і відповідно витрачається менша кількість енергії на передавання пакету даних. Для стиснення використовуються кодеки. Застосування кодеків дозволяє знизити споживання енергії за рахунок стиснення переданої інформації. Отже, мінімізація обсягу трансльованих даних призведе до зменшення енергоспоживання.

3) Кількість витраченої енергії залежить також від обраної мережевої топології. У mesh-топології енергії витрачається більше, за рахунок того, що кожен вузол мережі виходить на зв'язок частіше, і тому в робочому стані він перебуває більше.

Найменші витрати енергії відбуваються при використанні топології «зірка» чи «кластерне дерево», так як в цих топологиях координатори (концентратори) безпосередньо підключені до стаціонарної мережі.

Висновки до розділу

1. Проаналізовано основні параметри QoS для мережі зі стаціонарними та мобільними безпроводовими сенсорами на основі стандарту 802.15.4 та протоколу маршрутизації AODV: затримки передавання пакетів, стандартне відхилення затримок у вузлах мережі, втрати під час передавання пакетів та енергоспоживання вузлів.

2. За всіма параметрами більш стабільні характеристики показали стаціонарні датчики, що в дійсності відповідає поведінці подібних датчиків в реальній мережі. Наприклад, за фіксований період часу стаціонарними датчиками всередньому отримано 15 пакетів, в той час як мобільний вузол отримав лише 8.

3. Під час аналізу затримок виявлено, що затримки в мобільних датчиках значно менші, але їх показники менш стабільні. Дані, надані програмою OMNeT++, відповідають характеристиці вузла в реальній сенсорній мережі.

3. Надано рекомендації щодо можливих шляхів зниження енергоспоживання вузлів WSN.

5 СТАРТАП-ПРОЕКТ

5.1 Основні відомості

Сутність стартап-проекту. Досліджуючи ринок послуг IoT для “розумного міста” було виявлено можливість організації безпроводової сенсорної мережі на основі нових рішень. Зміст ідеї стартапу та визначення її характеристик наведено в табл. 5.1 та табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Зміст ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Запропонувати дієве і ефективне рішення для організації мережі безпроводових сенсорів в умовах “розумного міста”	1. Виробництво	Спрощення реалізації та зменшення вартості, високий рівень безпеки
	2. Вулиці міста	Можливість взаємодії з інфраструктурою міста для простих жителів
	3. Транспорт	Отримання актуальної інформації про ситуацію на дорозі

Таблиця 5.2 – Визначення характеристик ідеї стартап-проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Запропонований метод	Загальновживаний метод			
1.	Продаж спеціалізованих систем безпроводових сенсорів	Дає змогу	Дає змогу	Недостатня надійність в умовах вулиці	Цінова політика може не задовільнити кінцевого споживача	Кінцева вартість рішення нижча, ніж аналоги конкурентів
2.	Підвищення якості та надійності роботи системи на основі топології mesh	Дає змогу	Не дає змогу	Витрата трафіку на пакети з адресною інформацією	Необхідність в спеціальних знаннях роботи стандарту	Самоорганізація та самовідновлення

5.2 Технологічний аудит ідеї стартап-проекту

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

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

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

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: застосування спеціалізованих апаратно-програмних рішень для організації мережі безпроводових сенсорів.

5.3. Аналіз можливостей ринку для запуску проекту

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

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартапу

№ п/п	Показники ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість основних гравців, од	3
2	Обсяг продажів, грн/ум.од	120000
3	Тенденції ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Залучення потенційних клієнтів
5	Специфічні вимоги стандартизування та сертифікування	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в даній галузі, %	120000/94000 = 127%

У таблиці 5.5 показано характеристику потенційних клієнтів стартап-проекту

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності поведінки потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Ефективний моніторинг та управління міською інфраструктурою	Міські адміністрації	Забезпечення зростання якості життя населення	Результат повинен відповідати найвищим стандартам якості
2	Необхідність забезпечення збору та обробки інформації	Підприємства	Активний збір та аналіз інформації для покращення економічних та робочих показників	Забезпечення надійної роботи мережі сенсорів

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

Таблиця 5.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Опис загрози	Планове реагування компанії
1	Недостатній інтерес клієнтів	В випадку невдалого маркетингу клієнта можуть не зацікавити запропоновані послуги	Забезпечення додаткових сервісних послуг
2	Втрата конкурентних позицій	Втрата статусу надійного постачальника	Якісний та кількісний приріст інтенсивності та виважена цінова політика

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

Таблиця 5.7. Основні можливості

№ п/п	Фактор	Опис можливості	Планове реагування компанії
1	Лідерські позиції на ринку	Стрімке зростання попиту	Якісне та кількісне збільшення потужностей
2	Впровадження запропонованих технологій в уже існуючі системи	Збільшення об’ємів закупівель	Якісне та кількісне збільшення потужностей

У таблиці 5.8 наведено особливості та вплив конкурентного середовища на впровадження проекту [30].

Таблиця 5.8. Аналіз конкуренції

Особливості конкурентного середовища	Прояв даної характеристика	Вплив на діяльність підприємства (планові дії компанії для забезпечення конкурентоспроможності)
1.Конкуренція	Застосування вже існуючих технологій	Проведення стандартизації на високому рівні
2.Локальний	Відсутність єдиного постачальника послуг	Індивідуальний підхід до кожної локальної ділянки
3.Міжгалузева	Відсутня	Відсутня
4.Товарно-видова	Використання стандартизованих технологій	Застосування загальновживаних апаратних та програмних засобів, за необхідності
5.Цінова	Використання високовартісних спеціалізованих комплексів	Можливість заощадити шляхом застосування загальновживаних апаратних засобів
6.Марочна	Кожна діагностика повинна бути стандартизованою	Здобуття переваги на ринку

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

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Апаратні постачальники	Потреба пошуку постачальників	Залучення непопулярних постачальників	Самостійність у прийнятті клієнтських рішень	Надання переваги авторитетнішим апаратним рішенням
Висновки:	Середня	Є можливість виходу на ринок	Постачальники встановлюють цінову політику на обладнання	Клієнти встановлюють вимоги до якості	Обмеження є тільки в випадку відмови від діагностики

У табл. 5.10 наведено та обґрунтувано фактори конкурентноспроможності.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

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

У табл. 5.11 перелічено сильні та слабкі сторони проекту.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Порівняння рейтингу товарів-конкурентів						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Раціональніша цінова політика	10			+				
2	Послуги сервісного обслуговування	10			+				
3	Періодична діагностика	8					+		
4	Потреба в залученні висококваліфікованих кадрів	10							+

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

Таблиця 5.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: раціональна цінова політика, послуги сервісного обслуговування	Слабкі сторони: періодична діагностика, потреба в залученні висококваліфікованих кадрів
Можливості: Ексклюзивне використання нового методу, впровадження методу в існуючі методи NB-IoT	Загрози: Низька зацікавленість клієнтів, Втрата монополії

Альтернативи ринкового впровадження стартапу показані в табл.5.13.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність залучення ресурсів	Терміни реалізації
1	Складання договорів з підприємцями та оперативне захоплення ринку при використанні нового рішення	висока	короткі
2	Застосування приладів загального вжитку для підвищення конкурентноспроможності	середня	короткі

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Обгрунтування вибору цільових груп потенційних споживачів показано в табл. 5.14 [31].

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

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

Визначення базової стратегії розвитку наведено у табл. 5.15.

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

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

Визначення основної стратегії конкурентної поведінки показано в табл. 5.16.

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект унікальним на ринку?	Чи необхідно буде компанії шукати нових споживачів, чи опрацьовувати існуючих у конкурентів?	Чи необхідно компанії копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Так	Опрацьовувати існуючих та шукати нових	Немає необхідності	Стратегія виклику лідера

Визначення стратегії позиціонування показано в табл. 5.17.

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги цільової аудиторії до товару	Основна стратегія розвитку	Основні конкурентоспроможні позиції стартап-проекту	Визначення асоціацій, які сформують комплексну позицію стартап-проекту (три основних)
1	Належна висока якість послуг	Стратегія диференціації	Новизна, гарант якості, точність дослідження	Якість, точність, надійність
2	Невисокі витрати	Стратегія лідерства по витратах	Універсальність запропонованого рішення	Універсальність, невисока вартість

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Основні переваги концепції потенційного товару показано в табл. 5.18.

Таблиця 5.18. Визначення основних переваг концепції потенційного товару

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

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

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

<table>
<tr><th>Рівні товару</th><th colspan="3">Зміст та складові</th></tr>
<tr><td>I. Товар за задумом</td><td colspan="3">Якісний товар та послуги, стандартизована якість послуг та обладнання</td></tr>
<tr><td rowspan="5">II. Товар у реальному виконанні</td><td>Властивості/характеристики</td><td>М/Нм</td><td>Вр/Тх
/Тл/Е/Ор</td></tr>
<tr><td>1)Вартість обслуговування,
2)Кількість комплектів обладнання
3)Строк безвідмовної експлуатації
4)Технологічна собівартість товару</td><td>1) М
2) М
3) М
4) М</td><td>1) Е
2) Пр
3) Нд
4) Тх</td></tr>
<tr><td colspan="3">Якість: міжнародні стандарти, постійне обслуговування та підтримка обладнання</td></tr>
<tr><td colspan="3">Доставка, встановлення і налаштування</td></tr>
<tr><td colspan="3">Марка: Сенсорні мережі</td></tr>
<tr><td rowspan="2">III. Товар із підкріпленням</td><td colspan="3">До продажу – обладнання та встановлення</td></tr>
<tr><td colspan="3">Після продажу – обслуговування та сервісна підтримка</td></tr>
</table>

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

Визначення цінової політики на послугу показано в табл. 5.20.

Таблиця 5.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Цінова політика товарів-замінників	Цінова політика на товари-аналоги	Рівень купівельної спроможності цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	10000 у.о./од. (стандартна методика)	-	Високий	Н.3000 у.о. – В.10000 у.о. (Товар) Н.500 у.о. – В.2000 у.о. (Послуга)

Створення системи збуту послуги вказано у табл. 5.21.

Таблиця 5.21. Створення системи збуту

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

Концепції маркетингових комунікацій показано в табл. 5.22.

Таблиця 5.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій цільових клієнтів	Основні методи позиціонування	Завдання рекламного звернення	Концепція рекламного звернення
1	Зацікавленість в точному та якісному продукті з раціональним використанням ресурсів	Мережні ресурси	Гарантія якості та стандартизація, сервісна політика	Привернути увагу до покращень, пов’язаних із зростаючою популярністю послуг	Позиціонування центру синхронізації відправною точкою на шляху до над якісного контенту
2	Зацікавленість у великих об’ємах продукції із дотриманням умов якості	Мережні ресурси	Глибина каналу постачальників, гарант якості	Привернути увагу до переваг первісності та в глибині каналу постачання	Позиціонування послуг центру синхронізації єдиним раціональним шляхом забезпечення стабільного трафіку

Висновки до розділу

1. Виявлено, що комерціалізацію стартап-проекту щодо застосування та розвитку запропонованого рішення для безпроводових сенсорних систем можна вважати доцільною. На ринку IoT-послуг достатній попит на дану пропозицію, який зараз задовільняють товари замінники та більш дорогі рішення, саме тому необхідно займати нішу конкурента у якості постачальника порівняно вигідного продукту. Рентабельність на ринку послуг забезпечить в першу чергу можливість заміни повної апаратної залежності на універсальність, шляхом застосування не спеціалізованих комплексів, а загальновживаного програмного та апаратного забезпечення.

2. Перспективність впровадження досить висока, адже основними групами клієнтів є міські адміністрації та комунальні підприємства, і в разі досягенення відповідного авторитету, існує можливість охоплення у масштабах міжнаціональних ринків. Конкурентноспроможність проекту забезпечує нижча ціна кінцевого продукту та забезпечення високої якості проведення трансляції в тих умовах, де конкуренти відстають за цим параметром. Це є перевагою і основним критерієм входження на ринок запропонованого рішення.

3. Обрана альтернатива впровадження – пошук альтернативних технологій та пристроїв для побудови систем безпроводових сенсорів. Імплементація проекту доцільна, а сприятливі умови для його розвитку обумовлені рентабельністю та зацікавленістю потенційних груп клієнтів.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації досліджено параметри роботи мережі безпроводових сенсорів в умовах “розумного міста” на основі нових технологічних рішень.

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

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

3. Проаналізовано та проведено порівняльний аналіз актуальних стандартів для організації WSN. Обрано стандарт ZigBee як такий, що поєднує відносну дешевизну, низьке енергоспоживання і стійкість до перешкод.

4. Проаналізовано основні інструменти для моделювання мереж безпроводових сенсорів, обрано симулятор OMNeT++. Даний симулятор має нескладний для освоєння інтерфейс, є безкоштовним для використання в академічних цілях, в ньому реалізовані основні функції мережного рівня ZigBee, відповідно, він повністю підходить для моделювання та дослідження безпроводової сенсорної мережі.

5. Для моделювання мережі обрано протокол маршрутизації AODV. Даний протокол, у порівнянні з конкуруючими, є більш енергоефективним, дозволяє вузлам швидко встановлювати маршрути за новими напрямками і не вимагає від вузлів мережі зберігати в пам’яті неактивні маршрути.

6. Досліджено внутрішню структуру програмних засобів OMNeT ++ і NS-2. Проаналізувавши симулятори, в тому числі вихідний код, виявлено відмінності в їх реалізації. Також показано, що навіть в разі вибору однакових параметрів, для OMNeT ++ і NS-2 буде отримано різні результати. Це відбувається через різницю в роботі симуляторів в процесі проведення моделювання.

7. Розроблено модель мережі стаціонарних і мобільних датчиків. Проведено налаштування параметрі датчиків сенсорної мережі в програмному середовищі OMNeT++. Всі пристрої використовують як протокол канального рівня протокол IEEE 802.15.4. Моделювання проведено для 10 датчиків протягом 1 години. Для створення безпроводові сенсорної мережі використано інструменти MiXiM.

8. Проаналізовано основні параметри QoS для мережі зі стаціонарними та мобільними безпроводовими сенсорами на основі стандарту 802.15.4 та протоколу маршрутизації AODV: затримки передавання пакетів, стандартне відхилення затримок у вузлах мережі, втрати під час передавання пакетів та енергоспоживання вузлів. За всіма параметрами більш стабільні характеристики показали стаціонарні датчики, що в дійсності відповідає поведінці подібних датчиків в реальній мережі. Так, за фіксований період часу стаціонарними датчиками в середньому отримано 15 пакетів, в той час як мобільний вузол отримав лише 8. Під час аналізу затримок виявлено, що затримки в мобільних датчиках значно менші, але їх показники менш стабільні. Дані, надані програмою OMNeT++, відповідають характеристиці вузла в реальній сенсорній мережі.

9. Розроблено стартап-проект, який базується на просуванні на ринок IoT-послуг систем на базі досліджуваних технологій, як готового рішення для розгортання БСМ в умовах "розумного міста". Проведено дослідження доцільності та рентабельності даного бізнес-проекту та визначено, що комерціалізація проекту є доцільною.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Агафонов Н. Технології безпроводового передавання інформації, «Беспроводные технологии» №1, 2018 г.
2. Варгаузин В.А. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4 // ТелеМультиМедиа. 2015. № 6. – С. 23-27.
3. Балонин Н. А., Сергеев М. Б. Беспроводные персональные сети на основе ZigBee. Учебное пособие. – СПб: ГУАП, 2017. – 58 с.
4. Алгоритмы маршрутизации, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://citforu m.ru/nets/ito/2.shtml. (18.05.2018)
5. Варгаузин В.А. Сетевая технология ZigBee // ТелеМультиМедиа. 2015. № 6. – С. 29-32.
6. Джо Брокмайер, Ди-Эн Лебланк, Рональд Маккарти, мл. «Маршрутизация в Linux» 2017, 240 с.
7. Кривченко Т.И. Zigbee-модемы ETRX компании Telegesis // Беспроводные технологии. 2017. № 2. – С. 28-30.
8. Кривченко Т.И. Zigbee-модемы ETRX2 компании Telegesis: Что нового? // Беспроводные технологии. 2018. № 2. – С. 28-30.
9. Методы маршрутизации [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://sga- informatika.ru/1006012/232-102-routing-methods.(20.05.2016)
10. Олифер В.Г. Олифер Н.А. «Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 4-е изд». С.-Пб.:"Питер", 2014. 944.с
11. Попова Ю. Рупор революции // Энергия промышленного роста. 2013. № 8. – С. 34.
12. Пушкарев О.И. Построение сети ZigBee // Беспроводные технологии. 2013. № 1. – С. 34-38.
13. Семенов Ю.А. Протоколы и ресурсы Интернет. – М.: Радио и связь, 2016. – 320 с.

14. Соколов М.А. Программно- аппаратное обеспечение беспроводных сетей на основе технологии ZIGBEE/802.15.4 // Электронные компоненты. 2014. № 12. С. 80-87.

15. Солодунов С. Средства разработки Ember для быстрой реализации проектов ZigBee // Беспроводные технологии 2014. № 3. – С. 55-61.

16. Стандарты wi-fi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.wi- life.ru/texnologii/wi-fi/wi-fi-standarty.(03.06.2016)

17. Хорст Дитер Радке, Йеремиас Радке «Wireless Law Easy», Издательство: НТ Пресс, 2014, 320 с.

18. Reactive protocols - AODV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.olsr.org/docs/report_html/node16.html.(12.10.2019)

19. Мутханна, А. С. Исследование трафика и протоколов маршрутизации в беспроводных сетях : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.12.13 / Мутханна Аммар Салех Али. – Самара, 2016. – 16 с.

20. Окунева, Д. В. Анализ влияния технологий D2D на функционирование беспроводных сетей связи / Д. В. Окунева, О. А. Хуссейн // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016): сб. тр. конф. – М., 2016. – С. 191–197.

21. Koucheryavy, A. Quality of Service (QoS) classes for Ubiquitous Sensor Networks / A. Koucheryavy, A. Prokopiev // ICACT’2009: Proceedings, 15–18 February, Phoenix Park, Korea, 2009. – PP. 107–109.

22. RFC 4838 Delay-Tolerant Networking Architecture. April 2007.

23. RFC 6550. IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks. Internet Engineering Task Force (IETF), March 2012.

24. Росляков, А. В. Будущие сети (Future networks) / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 274 с.

25. Парамонов, А. И. Модели потоков трафика для сетей M2M / А. И. Парамонов // Электросвязь. – 2014. – № 4. – С. 9–14.

Додаток А

РЕФЕРАТ

англійською мовою за темою дипломної роботи

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks (WSNs) can be defined as a self-configured and infrastructure-less wireless networks to monitor physical or environmental conditions, such as temperature, sound, vibration, pressure, motion or pollutants and to cooperatively pass their data through the network to a main location or sink where the data can be observed and analysed. A sink or base station acts like an interface between users and the network. One can retrieve required information from the network by injecting queries and gathering results from the sink.

Typically a wireless sensor network contains hundreds of thousands of sensor nodes. The sensor nodes can communicate among themselves using radio signals. A wireless sensor node is equipped with sensing and computing devices, radio transceivers and power components. The individual nodes in a wireless sensor network (WSN) are inherently resource constrained: they have limited processing speed, storage capacity, and communication bandwidth. After the sensor nodes are deployed, they are responsible for self-organizing an appropriate network infrastructure often with multi-hop communication with them. Then the onboard sensors start collecting information of interest. Wireless sensor devices also respond to queries sent from a “control site” to perform specific instructions or provide sensing samples.

The working mode of the sensor nodes may be either continuous or event driven. Global Positioning System (GPS) and local positioning algorithms can be used to obtain location and positioning information. Wireless sensor devices can be equipped with actuators to “act” upon certain conditions.

Wireless sensor networks (WSNs) are achieving importance with the passage of time. Out of massive usage of wireless sensor networks, few applications demand quick data transfer including minimum possible interruption. Several applications give importance to throughput and they have not much to do with delay. It all rest on the applications desires that which parameter is more favourite. The knowledge of network structure and routing protocol is very important and it should be appropriate for the

requirement of the usage. In the end a performance analysis of different routing protocols is made using a WLAN and a ZigBee based Wireless Sensor Network.

The routing protocol is a process to select suitable path for the data to travel from source to destination. The process encounters several difficulties while selecting the route, which depends upon, type of network, channel characteristics and the performance metrics.

The data sensed by the sensor nodes in a wireless sensor network (WSN) is typically forwarded to the base station that connects the sensor network with the other networks (may be internet) where the data is collected, analyzed and some action is taken accordingly.

In very small sensor networks where the base station and motes (sensor nodes) so close that they can communicate directly with each other than this is single-hop communication but in most WSN application the coverage area is so large that requires thousands of nodes to be placed and this scenario requires multi-hop communication because most of the sensor nodes are so far from the sink node (gateway) so that they cannot communicate directly with the base station. The single-hop communication is also called direct communication and multi-hop communication is called indirect communication.

In multi-hop communication the sensor nodes not only produce and deliver their material but also serve as a path for other sensor nodes towards the base station. The process of finding suitable path from source node to destination node is called routing and this is the primary responsibility of the network layer.

There are some major design challenges in wireless sensor networks due to lack of resources such as energy, bandwidth and storage of processing. While designing new routing protocols, the following essentials should be fulfilled by a network engineer.

Wireless sensor networks are mostly battery powered. Energy shortage is a major issue in these sensor networks especially in aggressive environments such as battlefield etc. The performance of sensor nodes is adversely affected when battery is fallen below a pre-defined battery threshold level. Energy presents a main challenge for designers while designing sensor networks. In wireless sensor network, there are millions of motes. Each node in this network has restricted energy resources due to partial amount of power. So, the routing protocol should be energy efficient

The complexity of a routing protocol may affect the performance of the entire wireless network. The reason behind is that we have inadequate hardware competences and we also face extreme energy limitations in wireless sensor networks.

As sensors are becoming cheaper day by day, hundreds or even thousands of sensors can be installed in wireless sensor network easily. So, the routing protocol must support scalability of network. If further nodes are to be added in the network any time then routing protocol should not interrupt this.

Some applications require instant reaction or response without any substantial delay such as temperature sensor or alarm monitoring etc. So, the routing protocol should offer minimum delay. The time needed to transmit the sensed data is required to be as little as possible in above cited WSN applications.

Wireless sensor networks are deployed in very crucial and loss environments frequently. Occasionally, a sensor node might be expire or leaving the wireless sensor network. Thus, the routing protocol should be capable to accept all sorts of environments including severe and loss environments. The functionality of the routing protocol should be fine also.

There are four modes of data transmission depending on the applications in wireless sensor networks namely as query driven, event driven and continuous type and hybrid type. A node begins to transmit the data only when sink creates the query or an event occurs in query driven model and event driven model. The data is sent out periodically in continuous transmission mode. The performance of the routing protocol is a function of network size and transmission media. So, transmission media of good quality enhances the network performance directly

In order to transmit data in sensor networks, there are two techniques being used. The one is referred to as Flooding and the other one is gossiping protocol. There is no need to use any routing algorithm and maintenance of topology. In the flooding protocol, upon reception of a data packet by sensor nodes, this data packet is broadcast to all other neighbors. The process of broadcasting is continued till any one of two following conditions is satisfied; the packet has reached successfully to its destination. And second condition is; maximum number of hops of a packet has reached

The main advantages of flooding are ease of implementation and simplicity. The drawbacks are blindness of resources and overlapping and implosion. The gossiping protocol is somewhat advanced version of flooding protocol. In gossiping protocol, the sensor node, which is getting a data packet, transmits it to the arbitrarily selected neighbor. At the next turn, the sensing nodes again randomly pick another nodes and sends data to it. This process is continued again and again. The broadcasting is not used in gossiping protocol as it was used in flooding. In this way, implosion issue can be avoided easily. But delay is enhanced in this way.

ZigBee is newly developed technology that works on IEEE standard 802.15.4, which can be used in the wireless sensor network (WSN). The low data rates, low power consumption, low cost are main features of ZigBee. WSN is composed of ZigBee coordinator (network coordinator), ZigBee router and ZigBee end device. The sensor nodes information in the network will be sent to the coordinator, the coordinator collects sensor data, stores the data in memory, process the data, and route the data to appropriate node.

Network simulation (NS) is one of the types of simulation, which is used to simulate the networks such as in MANETs, VANETs etc. It provides simulation for routing and multicast protocols for both wired and wireless networks. NS is licensed for use under version 2 of the GNU (General Public License) and is popularly known as NS2. It is an object-oriented, discrete event-driven simulator written in C++ and Otcl/tcl.

NS-2 can be used to implement network protocols such as TCP and UPD, traffic source behavior such as FTP, Telnet, Web, CBR and VBR, router queue management mechanism such as Drop Tail, RED and CBQ, routing algorithms and many more. In ns2, C++ is used for detailed protocol implementation and Otcl is used for the setup. The compiled C++ objects are made available to the Otcl interpreter and in this way, the ready-made C++ objects can be controlled from the OTcl level.

OMNeT++ (www.omnetpp.org) is an extensible, modular, component-based C++ simulation library and framework which also includes an integrated development and a graphical runtime environment. Domain-specific functionality (support for simulation of communication networks, queuing networks, performance evaluation, etc.) is provided by model frameworks, developed as independent projects. There are extensions for real-time simulation, network emulation, support for alternative programming languages (Java, C#), database integration, SystemC integration, HLA and several other functions.

Ad-hoc on-demand distance vector (AODV) is reactive on request protocol. AODV is engineered for Mobile infrastructure-less networks. It employs the on-demand routing methodology for formations of route among network nodes. Path is established solitary when source node want to direct packs of data and pre-set route is maintained as long as the source node needs. That's why we call it as On-Demand. AODV satisfies unicast, multicast and broadcast routing. AODV routing protocol directs packets among mobile nodes of wireless ad-hoc network. AODV permits mobile nodes to pass data packets to necessary destination node via nodes of neighbor that are unable to connect link openly. The material of routing tables is switched intermittently among neighbor nodes and prepared for sudden updates.

AODV chooses shortest but round free path from routing table to transmit packets. Suppose if errors or variations come in nominated path, then AODV is intelligent enough to make a fresh new route for rest of communication.