

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧ ПОБУДОВИ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

В роботі проведено дослідження задач побудови бездротових сенсорних мереж, основним етапом їх вирішення є розробка моделей опису сенсорної мережі та відповідних методів, технологій забезпечення необхідних параметрів якості функціонування сенсорної мережі. Проведене дослідження передбачає розгляд основних технологій та стандартів, в яких присутня можливість реалізувати створення бездротових сенсорних мереж. Основою бездротових сенсорних мереж є канали зв'язку, організовані між елементами мережі за допомогою відповідної технології бездротового зв'язку. Основні задачі побудови бездротових сенсорних мереж: визначення параметрів трафіку; визначення переліку послуг; розробка або вибір моделі мережі; визначення показників функціонування мережі; вирішення задач компромісу між якістю функціонування, трафіком та об'ємом ресурсів. Ряд технологій організації мережі бездротового зв'язку мають широке поширення у корпоративних мережах зв'язку, використовують не ліцензований діапазон частот, і в приватних мережах, що дозволяє їх використання в ряді задач, через щільність пристроїв, що їх підтримують і доступність технологій. Ряд технологій, не підтримують функцій самоорганізації сенсорної мережі зв'язку. Такі механізми можуть бути реалізовані при використанні програмних засобів та відповідних протоколів на мережному рівні. Існуючі технології, мають можливість організації зв'язку від десятків до десятків тисяч метрів. Для конкретних прикладних завдань є одним із суттєвих факторів вибору відповідної технології.

Імовірність зв'язності в бездротових сенсорних мережах залежить від структури та параметрів, що визначають дану мережу: характеристика зони обслуговування (об'ємна, плоска, конфігурація, геометричні розміри), кількість вузлів мережі, характеристики комунікаційних можливостей елементів мережі (діаграми спрямованості антен, стандарти та протоколи, дальність зв'язку, потужність передавачів), особливості задіяних протоколів маршрутизації. Особливості забезпечення зв'язності в бездротових сенсорних мережах полягають у можливості використання, побудованими з використанням різних технологій, шлюзів дозволяє суттєво розширити можливості бездротових мереж у збільшенні ймовірності зв'язності. Особливістю побудови бездротових сенсорних мереж є суттєві відмінності у обслуговування трафіка у використовуваних мережах різних технологій. Показники якості функціонування бездротових мереж, такі як пропускна здатність, затримка, ймовірність втрат взаємозалежні показують, наскільки ефективно функціонує сенсорна мережа. При зміні одного з показників якості функціонування бездротових сенсорних мереж воно відбивається на інших показниках якості.

Ключові слова: model, сенсорні мережі, зв'язність, ефективність, ймовірність зв'язності, мережевий трафік, канали зв'язку.

Вступ. Бездротові сенсорні мережі багато в чому визначають трафік Інтернет мереж зв'язку і є на сьогодні одним з основних компонентів концепції Інтернет Речей. Бездротові сенсорні мережі інтенсивно розвиваються завдяки швидкості розгортання, відносно низькій вартості, а також можливості застосування в умовах, коли використовувати кабельні мережі не доцільно [4]. В бездротових сенсорних мережах, як і в інших мережах зв'язку, важливе місце відводиться питанню забезпечення якості функціонування Інтернет мережі. Одним із основних параметрів, бездротових сенсорних мереж якості функціонування є зв'язність [1,5].

Технології бездротових сенсорних мереж, на сучасному етапі проникають у різні сфери життєдіяльності людини, такі як наука, військова справа, медицина, сільське господарство, фізичні системи безпеки, робототехніка, промисловість.

Зв'язність в бездротових сенсорних мережах є можливість доступності сенсорного вузла відносно до інших вузлів. Зв'язність між вузлами залежить від факторів, таких як:

спрямованості антен, радіусу зв'язку вузлів, від взаємного розташування в мережі вузлів і характеризується ймовірністю зв'язності. Ймовірність зв'язності визначає фізичну можливість доставки даних. Для успішної доставки даних така можливість є необхідною, але не достатньою. Фактично, ймовірність доставки даних залежить також від якості каналу зв'язку на кожній ділянці маршруту. Неможливість доставки даних може бути причиною втратами пакетів у каналі, через сторонні перешкоди, через інтерференцію мережі між вузлами, перевантаженням трафіка мережі [2,3].

Аналіз останніх досліджень та постановка задачі. Відсутність зв'язності в бездротових сенсорних мережах призведе до повного чи часткового порушення працездатності. Для повного відновлення зв'язності необхідно оцінити ймовірність зв'язності бездротових сенсорних мереж. Наступним кроком є додавання вузлів для відновлення зв'язності бездротових сенсорних мереж.

Також для визначення та реалізації послуг необхідно знати такий показник мережі, як ефективність зв'язності бездротових сенсорних мереж.

На сьогодні вирішено та розглянуто проблеми бездротових сенсорних мереж, як кластеризація, збільшення часу життєвого циклу, покриття, маршрутизація. Однак, задача оцінки та забезпечення зв'язності повністю не вирішені. На сучасному етапі пропонується використання кооперативної передачі та спрямованих антен для збільшення зв'язності. Питання оцінки ймовірності зв'язності шляхом додавання додаткових вузлів, згідно до відповідного алгоритму, до теперішнього часу досліджені не були. Також, на сьогодні залежність якості обслуговування мереж від ймовірності зв'язності не досліджено.

Рішення додатка бездротових сенсорних мереж спрямовано на контроль машин (автомобілі, механізми, роботи), а також користувачів. Включає пристрої з машинно-орієнтованим зв'язком (пристрої без втручання людини).

Задачі бездротових сенсорних мереж:

- моніторинг фізичного стану (температура, освітленість, вологість, задимленість, основні життєві параметри органів людини, технічних систем);
- обробка даних, результату моніторингу;
- управління, вплив на процеси з урахуванням отриманих даних.

Моніторинг, пов'язаний з використанням чутливих вимірювальних елементів (сенсорів), для оцінювання стану об'єкта. Обробка включає обчислювальні ресурси сенсорних вузлів, або виділених вузлів (серверів) та відповідного програмного забезпечення, для вирішення конкретних задач. Управління включає наявність активаторів (виконуючих пристроїв), здатних виконувати роботу при отриманні відповідної команди, для реалізації та досягнення мети функціонування бездротової сенсорної мережі [3,10].

Елементи сенсорної мережі можна поділити на три групи [3,4]:

1. Сенсорний вузол – здатний збирати дані за допомогою сенсорів з навколишнього середовища. Сенсорний вузол може передавати дані, використовуючи при цьому радіоканал іншому елементу мережі, для подальшої обробки даних. Живлення сенсорного вузла здійснюється зазвичай від невеликої батареї або акумулятора. Крім розмірів, є й інші жорсткі обмеження для вузлів безпроводних сенсорних мереж. Вони повинні: працювати з великою кількістю вузлів; споживати мало енергії; мати низьку вартість виробництва; адаптуватися до навколишнього середовища; працювати без обслуговування і бути автономними. Зовнішній вигляд сенсорних вузлів приведений на рис.1.

2. Сервер (шлюз) – програмне забезпечення та пристрої, для збору даних від сенсорних вузлів, обробка, зберігання та періодичне оновлення отриманих даних. Сервер передає команди (інформацію) вузлам сенсорної мережі, а також іншим окремим виконуючим пристроям.

3. Активатор (виконавчий пристрій) – виконує дії на основі команд (даних) від контролера. Використовують, три типи активаторів: інформаційні активатори, забезпечують візуальну, сенсорну та звукову взаємодію з користувачами; активатори-машини,

електромеханічні пристрої, забезпечують фізичну взаємодію із зовнішнім середовищем; активатори-шлюзи, забезпечують передачу контрольних сигналів для інших Інтернет мереж.



Рисунок 1 - Зовнішній вигляд сенсорних вузлів

За даними Zion Market Research використання технологій бездротових сенсорних мереж характеризується одержуваними доходами, прогноз зростання доходів становить понад 70% на рік. Динаміка зміни доходів наведено рис. 2.

Як показано на рис. 2 наведеного прогнозу, у перспективі спостерігається все більш стабільного зростання інтересу та їх використання до бездротових сенсорних мереж.

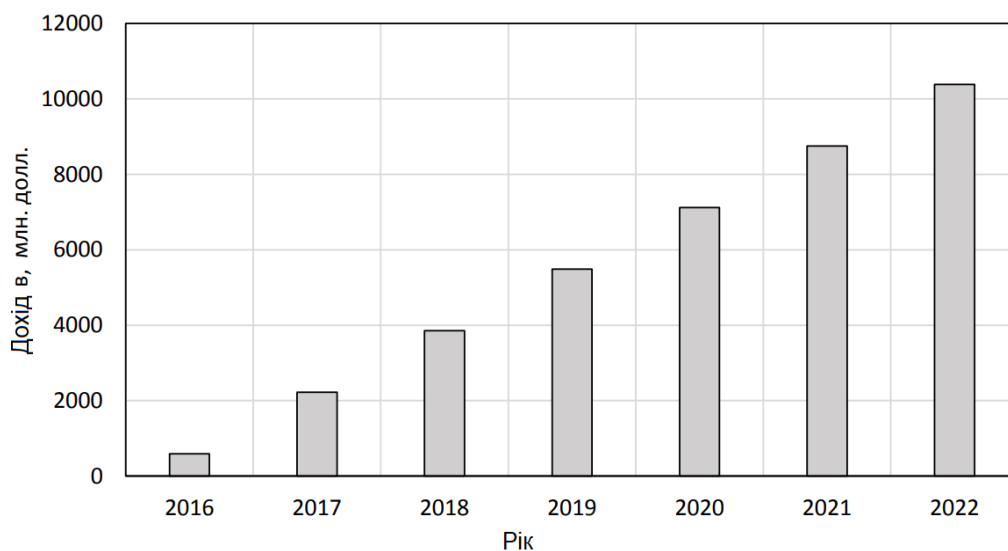


Рисунок 2 - Прогноз зміни доходів у світі від використання бездротових сенсорних мереж

На рис. 3 наведено екстраполяція та прогноз Cisco, про зростання використання пристроїв Інтернет речей, на рис. 4 наведено прогноз зміни Інтернет речей включених в бездротові сенсорні мережі зв'язку. Як наведено на рис. 3 і рис. 4, передбачається зростання кількості пристроїв Інтернет речей, а також їх проникнення частки, включених у бездротові сенсорні мережі зв'язку. На теперішній час, і в найближчій перспективі, більшість наведених пристроїв стануть елементами бездротових сенсорних мереж [15].

Децентралізована конфігурація використовується, коли попит на контролерів та центральний канал зв'язку мінімальний. Децентралізована конфігурація для застосування бездротових сенсорних мереж є більш універсальною у плані поширеності, надійності та гнучкості. Дана конфігурація забезпечує можливість використання в багатьох програмах, а також включаючи проекти управління надзвичайними ситуаціями. Використання централізованої конфігурації призводить до ризику відмови системи у випадку несправності одного з пристроїв сенсорної мережі. Централізована конфігурація бездротової сенсорної мережі – прийняття рішення сенсорною мережею проходять через контролери і надається виконавчим пристроям використовуючи центральний канал зв'язку. Даний підхід використовується, коли виконавчі пристрої (активатори) можуть зв'язуватися з сенсорною

мережею тільки у випадку використання центрального каналу зв'язку та у ситуації коли небажано змінювати структуру сенсорної мережі.

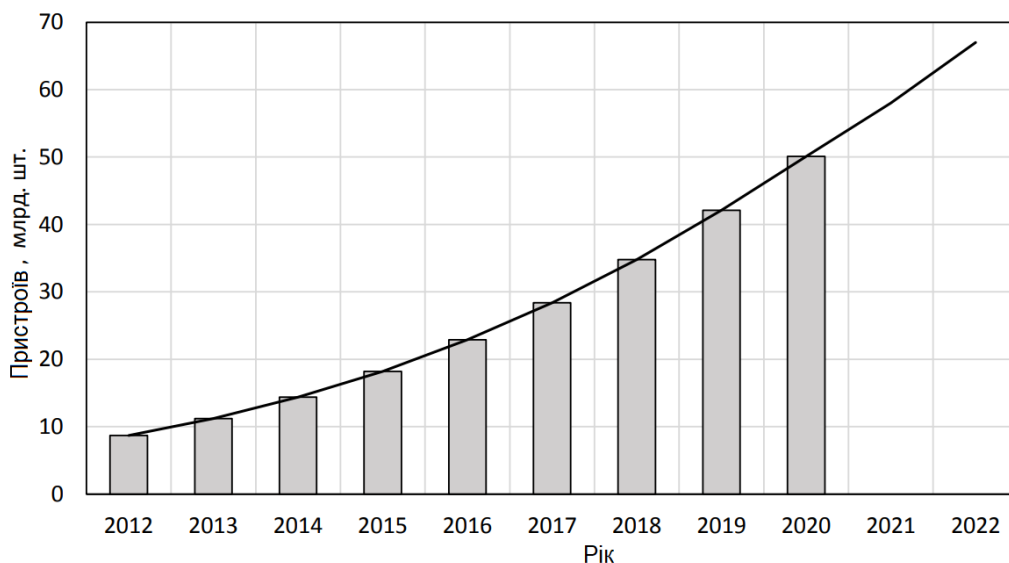


Рисунок 3 - Прогноз зростання використання пристроїв Інтернет речей

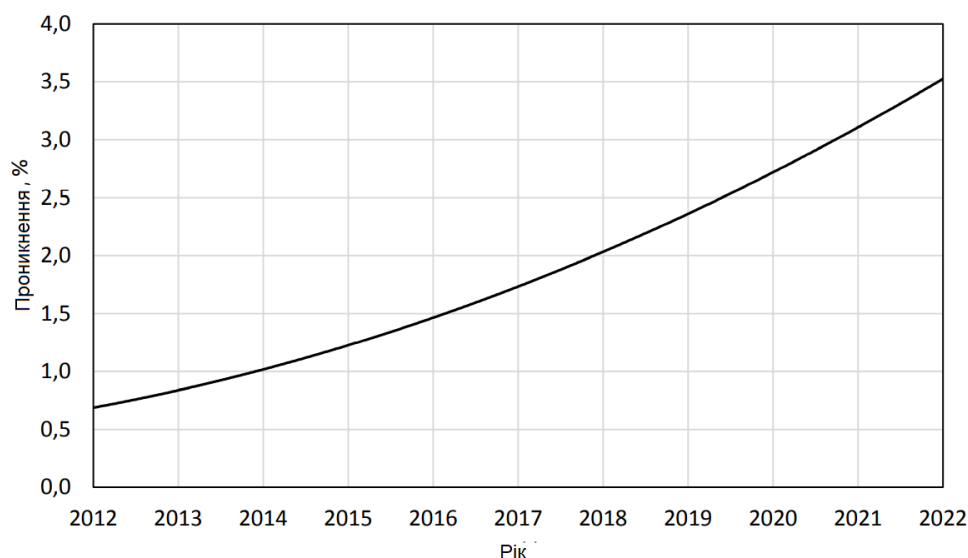


Рисунок 4 - Прогноз проникнення Інтернет речей, включених у бездротові сенсорні мережі зв'язку

Ad-hoc конфігурація використовує в своїй основі ad-hoc мереж (Bluetooth, ZigBee) для передачі даних до активаторів. Даний підхід використовується, коли існує необхідність розширювати інфраструктуру мережі та активатори при цьому мають можливості ad-hoc мереж. Розглянемо показники якості функціонування бездротової сенсорної мережі [3].

Зв'язність. Параметр мережі, який забезпечує зв'язок між елементами мережі: зв'язок контролера з виконавчим пристроєм; зв'язок контролера з мережею Next Generation Network; зв'язок контролера з сенсорними вузлами мережі; зв'язок виконавчого пристрою із сенсорними вузлами мережі.

Мобільність. Бездротові сенсорні мережі повинні підтримувати мобільність елементів мережі. Мобільність сенсорної мережі можна розбити на три основні типи: мобільність усередині мережі; мобільність між бездротовими сенсорними мережами; мобільність мережі, бездротова сенсорна мережа переміщається між інфраструктурними мережами.

Поінформованість про контекст - інформація, яка використовується для визначення характеристики середовища користувача. Контекстна інформація використовується при прийнятті рішення сенсорною мережею при виконанні задач, які вирішує бездротова сенсорна мережа. Контекстна інформація має бути зібрана та передана до відповідних елементів сенсорної мережі. Затримка передачі оновленої інформації не повинна погіршувати надійність функціонування бездротової сенсорної мережі. Контекстна інформація - інформація про місцезнаходження елементів, технологічні можливості елементів мережі; обчислювальне навантаження елементів, стан вузлів сенсорної мережі, інформація про несправність вузлів, навантаження трафіку мережі. Поінформованість про місцезнаходження. Для програмного забезпечення бездротових сенсорних мереж необхідна інформації про місцезнаходження елементів сенсорної мережі. Поінформованість про присутність - поділяється на дві частини: операційну присутність та мережну присутність. Операційна присутність - інформація про працездатність вузла мережі і які виконує поточні операції. Мережна присутність - інформація про готовність та зв'язність вузла мережі до взаємодії з іншими вузлами сенсорної мережі. Поінформованість про несправність - має реагувати на відмову або несправність будь-якого елемента мережі, для забезпечення доступності та надійності сенсорної мережі.

Маршрутизація - програмне забезпечення бездротових сенсорних мереж вимагає, з використанням розподілених механізмів, підтримки маршрутизації. Необхідно визначати оптимальний шлях між відповідними парами елементів мережі.

Масштабованість - програмне забезпечення бездротових сенсорних мереж вимагає надання відповідної масштабованості з використанням P2P чи інших розподілених механізмів, для надання відповідних послуг користувачам.

Відмовостійкість - бездротова сенсорна мережа забезпечує працездатність мережі у випадку відмови одного або декількох елементів мережі одночасно. У разі відмови елементів мережі, їх задачі динамічно будуть перенесені на інших елементів.

Безпека - бездротова сенсорна мережа потребує також надійного захисту через використання чутливих даних. Необхідно також враховувати, що сенсорні вузли не можуть забезпечити відповідні функції безпеки, оскільки елементи мережі мають безліч системних обмежень. Дані, що передаються по сенсорній мережі, не мають захисту чи надійного шифрування. До бездротових сенсорних мереж висувають наступні вимоги безпеки: використання надійних засобів виявлення атак, а також транспортних протоколів мережі стійких до атак [2,6].

Управління надзвичайних ситуацій - відповідне програмне забезпечення бездротових сенсорних мереж забезпечує підтримку попередження про надзвичайні ситуації, а також надає рекомендації щодо порятунку в даній ситуації, що ґрунтуються на поінформованості про знаходження користувача.

Зв'язність характеризує сенсорну мережу з погляду можливості надання послуги доставки даних. Показник зв'язності визначає здатність виконувати основні функції мережею і є значущою характеристикою сенсорної мережі, наряду з іншими показниками якості обслуговування. У випадку дротових мереж фіксованого зв'язку, у поняття зв'язності вкладають кількісні характеристики структури мережі (кількість маршрутів між вузлами, ліній зв'язку). Можливість відмови у наданні послуги, пов'язують із перевантаженнями мережі трафіком, технічною надійністю ліній зв'язку, обладнання.

На відміну від фіксованих мереж зв'язку, бездротові сенсорні мережі зв'язку не мають жорсткої незмінної структури, тому ймовірність існування маршруту може бути меншою за одиницю в такій мережі. Для бездротових сенсорних мереж поняття зв'язності характеризує можливості мережі забезпечувати зв'язок між абонентами і має ймовірнісний сенс [4,10].

Ймовірність зв'язності в бездротових сенсорних мережах залежить від структури та параметрів, що визначають дану мережу. Можуть бути наступні параметри: характеристика зони обслуговування (об'ємна, плоска, конфігурація, геометричні розміри), кількість вузлів мережі, характеристики комунікаційних можливостей елементів мережі (діаграми

спрямованості антен, стандарти та протоколи, дальність зв'язку, потужність передавачів), особливості задіяних протоколів маршрутизації.

Особливості забезпечення зв'язності в бездротових сенсорних мережах полягають у можливості використання, побудованими з використанням різних технологій, шлюзів дозволяє суттєво розширити можливості сенсорних мереж у збільшення ймовірності зв'язності. Особливістю побудови бездротових сенсорних мереж є суттєві відмінності у обслуговуванні трафіка у використовуваних мережах різних технологій. Побудова бездротової сенсорної мережі в загальній мережі є оптимальний вибір конфігурації та технологій [3,9].

Для вибору конфігурації в сенсорній мережі використовуються методи кластеризації, дозволяють вибирати оптимальні координати розміщення шлюзів бездротових сенсорних мереж. Методи кластеризації дозволяють вирішити задачу конфігурації мережі.

Особливості показників функціонування бездротових сенсорних мереж зв'язку полягають у домінуванні впливу сегментів мережі на показник якості, що надає можливість при цьому знехтувати впливом інших сегментів мережі; у взаємному впливі трафіка при спільному обслуговуванні, вимагає застосування відповідних механізмів пріоритетизації з урахуванням вимог до якості обслуговування; список параметрів якості функціонування сенсорної мережі залежить від вимог до якості обслуговування трафіка, характеру послуг.

Дослідження задач побудови бездротових сенсорних мереж. Бездротові сенсорні мережі можна класифікувати за характеристиками їх вузлів. До складу сенсорних мереж входять три основні елементи: транзитний елемент для передачу трафіка від сенсорного елемента до шлюзу, сенсорний елемент виконує функції збору інформації та передачі даних, вузол шлюзу для взаємодії з мережею загального користування. Транзитний елемент може також виконувати функцію сенсорного елемента. Бездротові сенсорні мережі також класифікуються за способом розміщення їх вузлів: мережі з рухомими вузлами та стаціонарними елементами. За тривалістю функціонування: короткочасного функціонування та тривалого функціонування [10,15].

В бездротових сенсорних мережах для передачі даних використовується технології бездротового зв'язку, працюють у смузі частот, які не ліцензуються. На теперішній час, поширення набули технології як Bluetooth, ZigBee та Wi-Fi. Наведені технології в частині пропускну здатності, мають суттєві відмінності енергоспоживання та інших параметрів, однак дані технології використовують близькі діапазони частот і можуть бути використанні для побудови бездротових сенсорних мереж.

Побудова бездротових сенсорних мереж, пов'язана з вирішенням прикладних задач конкретної предметної області. Для вирішення задач сенсорна мережа повинна надавати певні послуги. Дані послуги можуть бути пов'язані з доставкою, отриманням та обробкою інформації. В залежності від реалізованих послуг мережею, а також від предметної області та задач, до показників якості функціонування бездротових сенсорних мереж можуть бути пред'явленні різні вимоги. На відміну від традиційних мереж зв'язку, діапазон вимог до бездротових сенсорних мереж, визначається конкретними задачами і може бути розширеним. На сьогодні, бездротові сенсорні мережі допускають розширення діапазону вимог.

Таким чином, для вирішення деяких задач допускаються значення втрат та затримок доставки інформації - мережі Delay Tolerant Network (DTN). Однак, до деяких задач можуть бути пред'явленні більш жорсткі вимоги до показників функціонування - послуги з високою інтерактивністю (транспортними засобами, керування віддаленими механізмами, літальними апаратами). В залежності від розв'язуваної прикладної задачі до сенсорної мережі можуть пред'являтися вимоги продуктивності, з необхідним рівнем якості. З боку розробника, є необхідним забезпечення мінімізації вартості експлуатації мережі та обладнання, забезпечити зазначені вимоги мінімальним обсягом задіяних ресурсів [6].

Бездротова сенсорна мережа може розглядатися як комплексна система масового обслуговування, показники функціонування мережі (якість обслуговування), трафік (об'єм послуг) та об'єм ресурсів пов'язані між собою відповідною залежністю. Основною задачею

побудови бездротових сенсорних мереж - забезпечення компромісу між показниками функціонування мережі, об'єм ресурсів і трафіком, що обслуговується. Відповідну задачу можна розглядати як оптимізацію роботи мережі в умовах існуючих обмежень на набір технологій та об'ємом використовуваних технічних засобів [9].

Однак, необхідно зазначити, що з об'ємом ресурсів важливу роль грає спосіб використання цих ресурсів. Для сенсорних мереж зв'язку в даному випадку є вибір структури мережі. Структура сенсорної мережі, впливає на властивості мережі, тобто, багато в чому визначає її показники функціонування.

Основні задачі побудови бездротових сенсорних мереж наступні [1,3,4,9]:

- визначення послуг, які має надавати сенсорна мережа (на основі проведеного дослідження розв'язуваних прикладних задач);

- визначення показників трафіка мережі, що обслуговується даною мережею (на основі проведеного аналізу та дослідження прикладної предметної області та області використання сенсорної мережі);

- визначення вимог до параметрів функціонування сенсорної мережі (якості обслуговування трафіка, кількостей об'єктів, що обслуговуються, області обслуговування, на основі проведеного дослідження розв'язуваних прикладних задач);

- розробка або вибір моделі сенсорної мережі, яка буде враховувати особливості доступних технологій зв'язку та структуру сенсорної мережі (на основі проведеного аналізу наявних теоретичних знань);

- розв'язання задачі забезпечення компромісу між якістю функціонування, об'ємом ресурсів, та трафіком, може розглядатися задача оптимізації, в якій показники управління є параметри, що характеризують структуру мережі та об'єм ресурсів, а показниками стану сенсорної мережі параметри, які відображають якість обслуговування трафіка мережі.

На основі проведеного дослідження задач побудови бездротових сенсорних мереж, основним етапом їх вирішення є розробка (вибір) моделей опису сенсорної мережі та відповідних методів, технологій забезпечення необхідних параметрів якості функціонування сенсорної мережі.

Основою безпроводних сенсорних мереж є канали зв'язку, організовані між елементами мережі за допомогою відповідної технології бездротового зв'язку. Проведене дослідження передбачає розгляд основних технологій та стандартів, в яких присутня можливість реалізувати створення безпроводних сенсорних мереж. Розглянемо особливості доступних на теперішній час технологій бездротового зв'язку, які можуть бути використанні при побудові безпроводних сенсорних мереж.

Технології IEEE 802.15.4: 6LoWPAN (RFC4944); WirelessHART (IEC 62591); ZigBee (ZigBee Alliance) [11,12].

Технології IEEE 802.11: IEEE 802.11(n) s; IEEE 802.11ah [13,14].

Стандарт LPWAN: SigFox; LoRa (LoRa Alliance); Weightless P; NB-IoT.

Стандарт Mobile WiMAX IEEE 802.16e.

Технологія Bluetooth Low Energy v.4.1.

В рамках даної роботи аналізуються такі показники технологій як: зона охоплення; максимальна швидкість передачі даних; відмінні риси кожної технології; робочий діапазон частот.

Технології на базі стандарту IEEE 802.15.4 – стандарт описує протоколи нижнього рівня (MAC та PHY) моделі OSI, є енергозберігаючим низькошвидкісним стандартом для мереж WPAN. Робочий діапазон частот 868.0-868.6 МГц у Європі, 2400-2483.5 МГц в інших країнах світу, 902-928 МГц у Північній Америці. Основні характеристики: для цього стандарту, максимальна швидкість передачі даних досягає до 256 Кбіт/с у діапазоні частот 2483.5-2400 МГц. Пристрої даного стандарту класифікують на дві групи: Full Function Device (FFD) - мають більше можливостей, ніж RFD - координатори і маршрутизатори; RFD (Reduced Function Device) - мають обмежену функціональність. IEEE 802.15.4 підтримує топології організації мережі: точка-точка (Peer-to-Peer); зірка (Star topology). У стандарті IEEE 802.15.4

виділяють два типи вузлів: End Device – кінцеві пристрої. пристроями можуть бути з функціональністю RFD чи FFD; PAN Coordinator – координатор персональної мережі. Координаторами персональної мережі є тільки пристрої типу FDD.

На основі стандарту IEEE 802.15.4 розроблено стандарти для бездротових сенсорних мереж. Стандарт WirelessHART - розроблений для бездротової передачі даних, на основі протоколу HART. Протокол HART забезпечує перетворення та передачу даних зібраних з датчиків для подальшої обробки в мережі. Стандарт WirelessHART параметрами є деякі відмінні параметри від параметрів мереж на основі стандарту IEEE 802.15.4: підтримує топологію mesh поряд з топологіями точка-точка та зірка; збір даних із датчиків які використовують протокол HART; підтримка функції самовідновлення та самоорганізації мережі; пристрої стандарту WirelessHART можуть взаємодіяти на відстані від 200 до 300 м.. Мережа WirelessHART використовує наступні типи пристроїв: шлюз - WirelessHART Gateway забезпечує взаємодії між іншими мережами та мережею WirelessHART; пристрій WirelessHART Adapter збирає та передає у шлюз інформацію з датчиків; польовий пристрій WirelessHART Field Device. Мережа WirelessHART стандартизована у International Electrotechnical Commission, в даний час широко використовується в промисловості.

Стандарт 6LoWPAN - розроблено для взаємодії в мережі IEEE 802.15.4 між пристроями. Як протокол маршрутизації використовує IPv6. Основна ідея стандарту 6LoWPAN полягає у підключенні до глобальної мережі Інтернет пристроїв стандарту IEEE 802.15.4. У стандарті 6LoWPAN додалися такі показники: підтримка mesh-топології; підтримка функцій самовідновлення та самоорганізації мережі [11,12].

Технологія ZigBee, використовує власні протоколи на прикладному та мережевому рівні моделі OSI. Також використовує протоколи регламентовані стандартом IEEE 802.15.4. Широко використовується в периферійних пристроях, побутовій електроніці, у медичних обладнаннях. Протягом тривалого часу працює від батарей. Технологія ZigBee наслідує параметри IEEE 802.15.4 і також додає власні: підтримка функцій самовідновлення та самоорганізації мережі; у ZigBee функціонують наступні пристрої: функціонально обмежений пристрій (RFD) також повнофункціональний кінцевий пристрій (FFD) який збирає дані із сенсорів мережі; повнофункціональний пристрій FFD - маршрутизатор, ретранслює дані на координатор з кінцевих пристроїв; повнофункціональний пристрій FDD -координатор, контролює параметри мережі (перетворення формату даних), виконує маршрутизації пакетів мережі.

Технології на основі стандарту IEEE 802.15.1.

Технології передачі даних Bluetooth – динамічна однорангова мережа, розгортається в обмеженому просторі. Кількість мобільних вузлів сенсорної мережі може сягати до 80. Децентралізоване управління мережею. При організації сенсорної мережі для обробки інформації та керування мережею необхідна загальна точка доступу. Bluetooth 4.1 має наступні показники мережі: підтримує два режими: режим EDR (підвищена швидкість) – до 3 Мбіт/с; низькошвидкісна – 1Мбіт/с; використовує протокол IPv6; радіус зв'язку до 30 метрів; робочий діапазон частот 2,4 - 2,4835 ГГц; підтримує низьке енергоспоживання режим Bluetooth Low Energy; підтримує топології зірка (Star) та точка-точка (Peer-to-peer). Технології передачі даних Bluetooth 4.1 не підтримує функцій самовідновлення та самоорганізації мережі.

Технології на базі використання стандарту IEEE 802.15.6.

Стандарт IEEE 802.15.6 (Body Area Network) є мережею множини сенсорних мініатюрних вузлів, що імплантуються, надягаються на тіло або знаходяться коло тіла людини. Кількість сенсорних вузлів, може досягати до 256 елементів. Body Area Network підтримує різні медичні та спортивні програми. Відповідно до стандарту всі вузли повинні мати відносну високу швидкість передачі даних та невелику потужність. На сьогодні існує три види елементів для BAN-мереж: Implant Node –імплантований усередині людини; Surface Node – знаходиться безпосередньо на відстані до двох сантиметрів або на поверхні тіла; External Node –розташований на відстані до п'яти метрів від тіла людини. Параметри мережі IEEE 802.15.6: радіус зв'язку до 5 метрів; швидкість від 10 кбіт/с до 10 Мбіт/с; робоча частота

6-8 ГГц (Європа), 3,1-10,6 ГГц(США); підтримує топології: mesh, star - зірка; потужність випромінювання від 0,1 мВт до 1 мВт; типи вузлів мережі 802.15.6: координатор (Coordinator) – шлюз до мереж зв'язку загального користування (до зовнішнього світу), для передачі даних на сервер; транзитні вузли (Relay Nodes) – транзит даних між кінцевими вузлами та координатором; кінцеві вузли (End Nodes).

Технології на основі використання стандарту IEEE 802.11 [13,14].

Wi-Fi – набір стандартів, регламентують бездротові з'єднання між пристроями локальної мережі. Працює у них діапазоні частот 0,9, 3,6, 2,4, 5 ГГц. Стандарт IEEE 802.11-2012, регламентує організації бездротових мереж та високошвидкісних каналів зв'язку, які працюють під управлінням протоколів IEEE 802.11s та IEEE 802.11n.

Стандарт IEEE 802.11ah використовується для комутацій на невеликій відстані між машинами - з'єднання M2M). Основні параметри: може мати до 26 каналів зв'язку; робоча частота 0.9 ГГц; радіус зв'язку до 1.2 км, за допомогою підсилювача можна збільшити до 10 км; швидкість передачі даних від 40 Мбіт/с до 150 Кбіт/с; точка доступу підтримує до 8190 пристроїв.

Стандарт IEEE 802.11s підтримує топологію mesh призначений для організації локальної бездротової мережі, і є програмною конфігурацією для стандартів IEEE 802.11b/g/n. Параметри мережі: працює в діапазонах частот 2.4-2.5, 5.0 ГГц; швидкість передачі даних – 600 Мбіт/с; радіус зв'язку до 250 метрів, за допомогою антенних пристроїв та підсилювача можна збільшити до 10 км; ширина каналу зв'язку 20 , 40 МГц; підтримує три топології: зірка (Star), точка- точка (Peer-to-Peer) , Mesh topology [13,14].

Технології на основі стандарту IEEE 802.16.

Mobile WiMAX (Mobile WirelessMAN) – технологія для забезпечення бездротового зв'язку мережі між пристроями. Надає послуги зв'язку для мобільних пристроїв, стаціонарних, які можуть перебувати від базової станції на великих відстанях. Основні параметри мережі: швидкість передачі даних 40 Мбіт/с; діапазон частот: 3.4-3.8 ГГц, 2.5 ГГц, 2.3 ГГц, 3.3 ГГц; радіус зв'язку до 5 км; підтримує Star (зіркову) та Mesh топологію мережі; типи пристроїв: BS (базова станція), керує мережею (розподіляє ресурс між пристроями, роз'єднує, підтримує та встановлює радіоз'єднання); кінцевий пристрій з підтримкою технології WiMAX, Modem з USB-роз'ємом для підключення пристроїв без підтримки WiMAX, ноутбуків.

Технології на основі стандарту LPWAN LoRaWAN.

Стандарт LoRaWAN – на базі LPWAN енергоефективна бездротова мережа далекого радіусу. LoRaWAN дозволяє будувати для збору даних бездротову мережу з вузлів LoRa до яких підключено множини датчиків. Стандарт LoRaWAN розробляється групою LoRa Alliance. LoRaWAN – відкритий протокол для бездротових мереж з великою кількістю елементів. Основні параметри мережі: діапазон частот Європа - 868,8 МГц, США - 915 МГц; максимальний радіус зв'язку до 100 км; ширина частотного каналу (7,8; 10,4; 20,8; 31,25; 62,5; 125; 500 кГц); підтримує топологію мережі star topology; досяжна швидкість максимальна 100 Кбіт/с; складається з шлюзів (Gateway)s та кінцевих вузлів (Endpoints). Шлюз перетворює дані, отримані з кінцевих вузлів, виконує роль маршрутизатора.

Стандарт NB-IoT відповідає вимогам LPWAN-мережі. Стандарт NB-IoT дозволяє перейти від традиційного зв'язку до Інтернет речей. Оператори можуть забезпечити послуги IoT - «розумне місто», інтелектуальні системи обліку, «розумний дім». NB-IoT гарантує величезну кількість з'єднань та широке покриття, низьку енерговитрату, яка забезпечує при цьому десять років автономної роботи. Параметри мережі: ширина частотного каналу 200 кГц; діапазон частот 700/800/900 МГц; Швидкість передачі: DL: 1-200 кбіт/сек, UL: 1-144 кбіт/сек; максимальний радіус зв'язку до 2 км; підтримує топологію зірка (Star); складається з BS (базової станції) та endnodes (кінцевих вузлів) [5,7].

У табл. 1 наведено основні характеристики технологій бездротового зв'язку мережі.

Порівняння параметрів бездротових технологій передачі даних

Технологія	Діапазон частот, МГц	Підтримка самоорганізації	Підтримка IP	Макс. швидкість передачі	Макс. відстань передачі, м
WirelessHART	868.0-868.6	Так	Ні	256 Кбіт/с	300
6LoWPAN	902-928,	Так	Так		200
ZigBee	2400- 2483.5	Так	Ні		600
Bluetooth 4.1	2400 -2483,5	Ні	Так	3 Мбіт/с	100
IEEE 802.11ah	900	Так	Так	40 Мбіт/с	1200 (до 10000)
IEEE 802.11n(s)	2400 -2483,5	Так	Так	600 Мбіт/с	250 (до 10000)
IEEE 802.16e	2300,2500, 3300, 3400-3800	Так	Так	40 Мбіт/с	5000
LoRa	433, 868, 915	Ні	Ні	50 Кбіт/с	45000
Sigfox	868, 916	Ні	Ні	100 Кбіт/с	50000
Weitless P	169,433,470, 780, 868, 915,923	Ні	Ні	100 Кбіт/с	2000
NB-IoT	700, 800, 900	Ні	Ні	200 Кбіт/с	2000

Сенсорні мережі зв'язку можуть застосовуватись без підтримки інфраструктури, на поверхні води, під водою, на полі бою, на тілі та всередині живих організмів, у важкодоступних місцях, у транспортних засобах, у будинках. За структурою організації бездротові мережі зв'язку відносяться до самоорганізуючих мереж. Самоорганізуючі мережі - мережі, які складаються з випадкового числа пристроїв, кількість яких може змінюватися. Джерелом енергії сенсорних вузлів мережі, в більшості, є джерела, що не поповнюються, таким чином час життя сенсорного вузла обмежений часом життя джерела живлення. Для продовження життєвого циклу бездротової мережі зв'язку є використання додаткових джерел енергії - теплові, хімічні, сонячні.

Бездротові мережі поділяються на сенсорні мережі з мобільними вузлами та стаціонарними. Важливою характеристикою сенсорної мережі є покриття простору. Мобільний сенсорний пристрій може якийсь час перебувати поза зоною досяжності, це не означає, що цей сенсорний пристрій вийшов з ладу. Здійснюючи переміщення по випадковій траєкторії, сенсорний пристрій може опинитися в зоні дії інших сенсорних пристроїв [3,15].

Зв'язність сенсорної мережі відіграє важливу роль у функціонування сенсорних мереж, наряду з такими характеристиками як залишкова енергія, покриття території, час життя мережі. В загальному випадку, бездротова сенсорна мережа має випадкову структуру (мережі зі змінним оточенням, рухомими вузлами, обмеженою ємністю джерел електроенергії, мережі з відмовами вузлів).

Розглянемо множину сенсорних пристроїв на довільній території (рис. 5). Для зручності опишемо наступними параметрами: площа території – S (m^2), радіус дії (зв'язку) - r , щільність пристроїв – ρ (вузлів/ m^2) та радіус зони обслуговування – R . Сенсорний пристрій в центрі з радіусом R кола, покриває дане коло і визначає зміну всередині нього фізичних станів. Область дії зв'язку сенсорного пристрою характеризується колом із радіусом r . Сенсорні пристрої, відстань між якими менше r , можуть взаємодіяти один з одним, вони є зв'язковими.

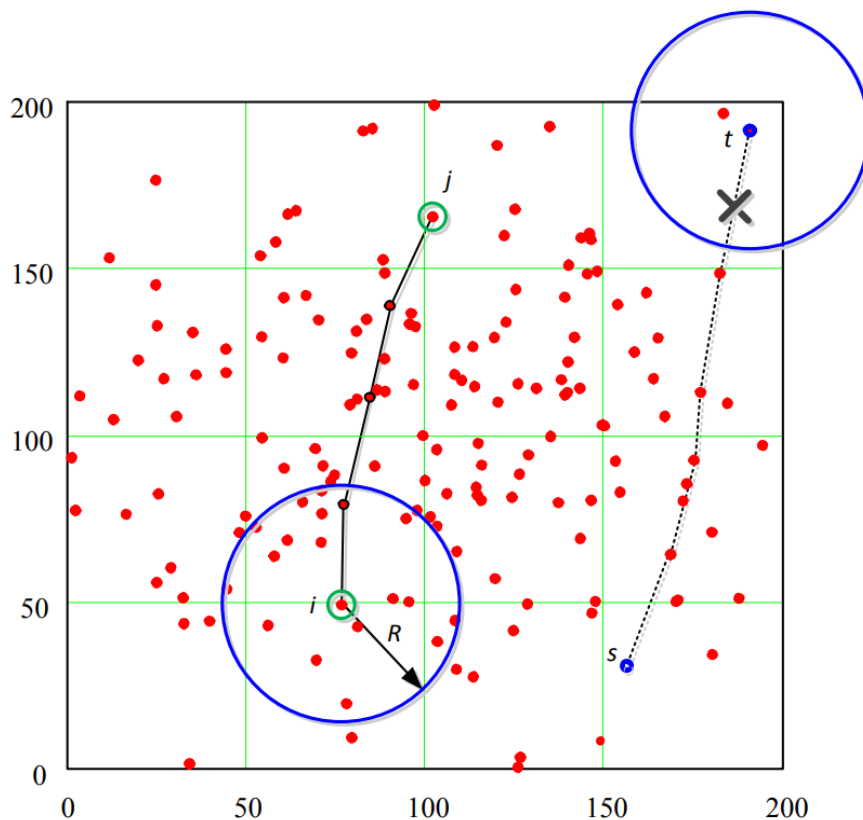


Рисунок 5 - Множина сенсорних вузлів на деякій території

Метою функціонування бездротової сенсорної мережі - отримання інформації, доставка її до центру зберігання та обробки даних, кожен із сенсорних пристроїв повинен надавати таку функціональність. Ця функціональність визначається маршрутом між парами вузлів мережі та шлюзом. Методом побудови сенсорної мережі забезпечується наявність такого маршруту (розміщенням вузлів відносно один одного). Виділяють два способи організації сенсорної мережі: випадковий та детермінований. Вузлі при організації сенсорної мережі випадковим методом знаходяться у випадкових точках на деякій території, маршрут між вузлами мережі може бути прокладено не завжди. Вузлі при організації сенсорної мережі детермінованим методом розміщуються в визначених точках обслуговування. В даному випадку зв'язність бездротової сенсорної мережі забезпечується вибором координат цих точок. Зв'язність сенсорної мережі характеризується між будь-яким із пристроїв бездротової мережі та шлюзом ймовірністю існування маршруту. Ймовірність існування маршруту визначається значною мірою характером, в зоні обслуговування, розподілом вузлів сенсорної мережі. Розподіл ймовірності відстані між сусідніми (найближчими) вузлами розподілена за законом Релея і випадкова [3,9]. Значення функції розподілу дорівнює ймовірності, що відстань між сусідніми вузлами мережі не перевищить l

$$F(l) = P(r \leq l) = 1 - e^{-\pi \rho \cdot l^2} \quad (1)$$

де ρ – щільність сенсорних вузлів у зоні обслуговування (вузлів/м²). Дану властивість безпосередньо можна використовувати для визначення характеристики зв'язності вузлів сенсорної мережі. Для заданої величини ймовірності p_0 зв'язності вузлів можна знайти значення щільності вузлів (рис. 6):

$$\rho = \frac{-\ln(1 - p_0)}{\pi \cdot l^2} \quad (2)$$

При загальному підході маршрут може проходити через декілька вузлів сенсорної мережі, які в свою чергу виконують функції транзиту. В такому випадку, ймовірність визначення маршруту між двома вузлами мережі або вузлом сенсорної мережі і шлюзом

залежатиме від числа транзитів (довжини маршруту) та ймовірностей зв'язності задіяних вузлів.

Зв'язність бездротових сенсорних мереж є мірою взаємозв'язку між сенсорним вузлом та центром зберігання та обробки даних. Даний підхід можливо описати ймовірністю існування маршруту для вузла мережі та залежністю від параметрів бездротової сенсорної мережі.

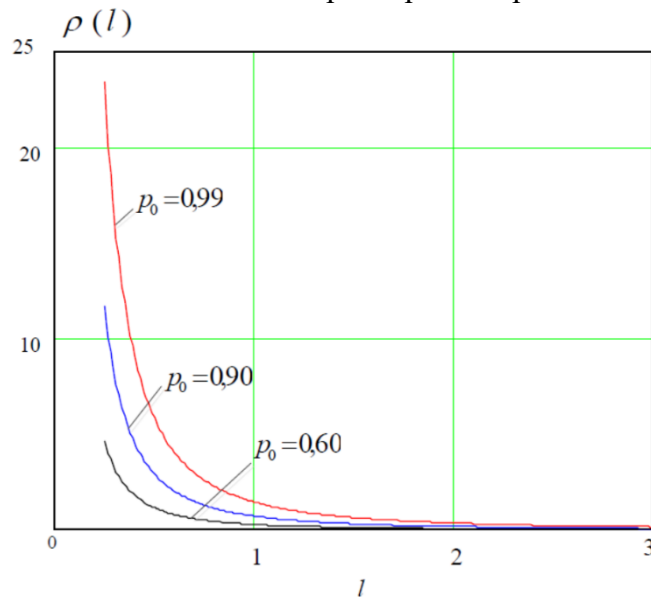


Рисунок 6 - Залежність щільності вузлів мережі для заданої ймовірності зв'язності між вузлами від мінімальної відстані

У бездротових сенсорних мережах зв'язку взаємодіють різні мережі, при цьому можна спостерігати передачі різних трафіків - поточкових, телеметричних. Показники якості функціонування бездротових сенсорних мереж зв'язку можна виділити в три групи: показники достовірності; показники доступності; часові показники.

Показник достовірності: можливість помилок в доставлених даних та можливість втрати даних. Коефіцієнт втрат (імовірність втрати даних) визначається як відношення числа втрачених пакетів до загального числа прийнятих пакетів, залежить від інтенсивності потоку в сенсорній мережі (від завантаженості транзитних вузлів мережі), тривалості черги, кількості маршрутів. Імовірність помилок визначається у доставлених даних як кількість пакетів, прийнятих з помилками, до суми прийнятих пакетів і залежить від факторів фізичного середовища.

Показники доступності: можливість доступності послуги передачі даних мережею, наявність зв'язку між взаємодіючими вузлами мережі. У бездротових сенсорних мережах наявність зв'язку визначається на основі різних факторів: напрямку антени, щільності цих мереж, радіус дії елементів різних мереж, також значною мірою від взаємного розташування об'єктів сенсорної мережі.

Часові показники: час доставки даних. Залежно від переходу через різні технології і кількості транзитних вузлів, час доставки може збільшуватися; затримки доставки даних, властиво до пакетних сенсорних мереж, обчислюється в мілісекундах (відчутно при передачі відео та звуку); пропускна здатність найбільша можлива швидкість передачі даних. Пропускна здатність залежить від мереж через які проходить трафік.

Особливість оцінки показників у бездротових сенсорних мережах пов'язана з використанням різних технологій побудови мережі та необхідністю взаємодії через шлюзи цих мереж. Тому параметри та показники функціонування сенсорних мереж можуть суттєво відрізнятися. Таким чином, на різних ділянках маршруту передачі даних, прокладеного через сенсорну мережу, показники функціонування можуть відрізняються на кілька порядків. Якість маршруту визначатиметься найбільш "вузькою" ділянкою. Використання ділянок маршруту передачі даних із завищеними характеристиками вузлів призводить до недовикористання

ресурсів сенсорної мережі. В даній ситуації слід враховувати вимог до якості обслуговування кожного з потоків, а також взаємний вплив потоків трафіка.

Таким чином, особливостями показників функціонування мережі є: домінування впливу сегментів мережі на показник якості, що дає можливість знехтувати впливом інших сегментів сенсорної мережі; взаємний вплив потоків трафіка при обслуговуванні, при застосуванні механізмів пріоритетизації трафіка з урахуванням до показників вимог якості обслуговування; перелік параметрів якості функціонування сенсорної мережі залежить також від характеру надаваної послуги, вимог до якості обслуговування трафіка.

Показники якості функціонування бездротових мереж, такі як пропускна здатність, затримка, ймовірність втрат взаємозалежні і показують, наскільки ефективно функціонує безпроводна сенсорна мережа. При зміні одного з показників якості функціонування безпроводних сенсорних мереж воно відбивається на інших показниках якості.

Висновки. На основі проведеного дослідження основних показників технологій організації мережі бездротового зв'язку можна зробити висновки: ряд технологій мають широке поширення у WLAN - корпоративних мережах зв'язку, використовують не ліцензований діапазони частот, і в WPAN - приватних мережах, що дозволяє їх використання в ряді задач, через щільність пристроїв, що їх підтримують і доступність технологій; ряд технологій, не підтримують функцій самоорганізації сенсорної мережі зв'язку. Такі механізми можуть бути реалізовані при використанні програмних засобів та відповідних протоколів на мережному рівні; існуючі технології, мають можливість організації зв'язку від десятків до десятків тисяч метрів. Для конкретних прикладних завдань є одним із суттєвих факторів вибору відповідної технології.

Показники якості функціонування бездротових мереж, такі як пропускна здатність, затримка, ймовірність втрат взаємозалежні показують, наскільки ефективно функціонує сенсорна мережа. При зміні одного з показників якості функціонування бездротових сенсорних мереж воно відбивається на інших показниках якості.

Особливості забезпечення зв'язності в бездротових сенсорних мережах полягають у можливості використання, побудованими з використанням різних технологій, шлюзів дозволяє суттєво розширити можливості бездротових мереж у збільшенні ймовірності зв'язності. Особливістю побудови бездротових сенсорних мереж є суттєві відмінності у обслуговування трафіка у використовуваних мережах різних технологій.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ленков, С.В. Модель безпеки поширення забороненої інформації в інформаційно-телекомунікаційних мережах / С.В. Ленков, В.М. Джулій, В.С. Орленко, О.В. Селюков, А.В. Атаманюк // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2020. – Вип. №68. – С. 53-64.
2. Ленков, С.В. Аналіз існуючих методів та алгоритмів виявлення атак в бездротових мережах передачі даних / С.В. Ленков, В.М. Джулій, Н.М. Берназ, С.О. Божук // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2017. – Вип. № 56. – С.124-132
3. Галелюка, І.Б. Моделювання бездротових сенсорних мереж / І.Б. Галелюка // Комп'ютерні засоби, мережі та системи – 2018. – № 14. – С.141 – 150.
4. Довгий, С.О. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, економіка, управління, регулювання / С.О. Довгий, О.Я. Савченко, П.П. Воробієнко – К.: Український Видатничий Центр, 2012. – 520 с.
5. Джулій, В.М. Модель оцінки ймовірнісно-часових характеристик інформаційної взаємодії в мережі інтернет речей / В.М. Джулій, І.В. Муляр, О.В. Селюков, Б.М. Кізюн // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2019. – Вип. № 63. – С.96-106
6. Джулій, В.М. Модель нелегітимного абонента забезпечення безпеки IP-телефонії / О.С. Андрощук, В.М. Джулій, Ю.П. Кльоц, І.В. Муляр // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2020. – №2. – С. 38–45.

7. Джулій, В.М., Кльоц Ю.П., Муляр І.В., Жилевич М.Л., Джулій А.В. Контроль додатків інтернет-трафіка комп'ютерних мереж методами машинного навчання. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2021. № 5. С. 22-26.
8. Джулій, В.М. Метод класифікації додатків трафіка комп'ютерних мереж на основі машинного навчання в умовах невизначеності / В.М. Джулій, О.В. Мірошніченко, Л.В. Солодєєва // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2022. – Вип. №74. – С. 73-82.
9. Лавров, Є. А. Математичні методи дослідження операцій: підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Шендрік – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 212 с.
10. Олифер, В.Г. Безопасность компьютерных сетей / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. - М. : Горячая линия-Телеком, 2017. - 644 с.
11. IEEE Std 802.15.1-2002, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements.
12. IEEE Std 802.15.2-2003, IEEE Recommended Practice for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements.
13. IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.
14. IEEE Std 802.11n-2009, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information
15. Риз, Дж. Облачные вычисления. / Дж. Риз: пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 288 с.: ил.

REFERENCES:

1. Lenkov, S.V. (2020), Model bezpeky poshyrennia zaboronenoї informatsii v informatsiino-telekomunikatsiinykh merezhakh / S.V. Lenkov, V.M. Dzhulii, V.S. ORLENKO, O.V. Sieliukov, A.V. Atamaniuk // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. K.: VIKNU. №68. Pp. 53-64.
2. Lenkov, S.V. (2017), Anallz Isnuyuchih metodiv ta algoritmiv viyavlennya atak v bezdrovohi merezhah peredachi danih / S.V. Lenkov, V.M. Dzhulii, N.M. Bernaz, S.O. Bozhuk // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho Instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – Vip. No 56. – Pp.124-132
3. Haleliuka, I.B. (2018), Modeliuvannya bezdrovovykh sensorykh merezh / I.B. Haleliuka // Kompiuterni zasoby, merezhi ta systemy. – № 14. – Pp.141 – 150.
4. Dovhyi, S.O. (2012), Suchasni telekomunikatsii: merezhi, tekhnolohii, ekonomika, upravlinnia, rehuliuвання /S.O. Dovhyi, O.I. Savchenko, P.P. Vorobiienko – K.: Ukrainnyi Vydatnychii Tsent. – 520p.
5. Dzhulii, V.M. (2019), Model otsinky ymovirnisno-chasovykh kharakterystyk informatsiinoї vzaiemodii v merezhi internet rechei / V.M. Dzhulii, I.V. Muliar, O.V. Sieliukov, B.M. Kiziun // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – Vyp. № 63. – Pp.96-106
6. Dzhulii, V.M. (2020), Model nelehitymnoho abonenta zabezpechennia bezpeky IP-telefonii / O.S. Androshchuk, V.M. Dzhulii, Yu.P. Klots, I.V. Muliar // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – Khmelnytskyi. – №2. – Pp. 38–45.
7. Dzhulii V.M., Klots Yu.P., Muliar I.V., Zhylevykh M.L., Dzhulii A.V. (2021), Kontrol dodatkov internet-trafika kompiuternykh merezh metodamy mashynnoho navchannia. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – Khmelnytskyi. – №5. – Pp. 22–26.
8. Dzhulii, V.M. (2022), Metod klasyfikatsii dodatkov trafika kompiuternykh merezh na osnovi mashynnoho navchannia v umovakh nevyznachenosti / V.M. Dzhulii, O.V. Miroshnichenko, L.V. Solodieieva // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – Vyp. №74. – Pp. 73-82.
9. Lavrov, Ye. A. (2017.), Matematychni metody doslidzhennia operatsii : pidruchnyk / Ye. A. Lavrov, L. P. Perkhun, V. V. Shendryk – Sumy : Sumskiy derzhavnyi universytet, – 212 p.
10. Olyfer, V.H. Bezopasnost kompiuternykh setei / V. H. Olyfer, N. A. Olyfer. - M. : Horiachaia lynyia-Telekom, 2017. - 644 p.
11. IEEE Std 802.15.1-2002, IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements.

12. IEEE Std 802.15.2-2003, IEEE Recommended Practice for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks – Specific requirements.

13. IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.

14. IEEE Std 802.11n-2009, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information

15. Riz, Dzh. (2011),” Oblachnyie vyichisleniya” [Cloud computing], per. s angl., SPb.: BHV-Peterburg, 288p.: il.

PhD Dzhuliy V.M., PhD Krasnik A.V.,

PhD Lenkov Ye.S., PhD Okhramovich M.M., Ryaba L.O.

STUDY OF PROBLEMS OF CONSTRUCTION OF SAFE SENSOR NETWORKS

The research of problems of construction of wireless sensor networks is carried out in the work, the main stage of their decision is development of models of the description of a sensor network and the corresponding methods, technologies of maintenance of necessary parameters of quality of functioning of a sensor network. The study involves the consideration of basic technologies and standards in which there is an opportunity to implement the creation of wireless sensor networks. The basis of wireless sensor networks are communication channels organized between network elements using appropriate wireless technology. The main tasks of building wireless sensor networks: determining traffic parameters; determining the list of services; development or selection of a network model; determination of network functioning indicators; solving the problem of compromise between the quality of operation, traffic and resources. A number of wireless networking technologies are widespread in corporate networks, use an unlicensed frequency band, and in private networks, which allows their use in a number of tasks, due to the density of devices that support them and the availability of technology. A number of technologies do not support the functions of self-organization of the communication network. Such mechanisms can be implemented using software and related protocols at the network level. Existing technologies have the ability to organize communication from tens to tens of thousands of meters. For specific applications, it is one of the essential factors in choosing the appropriate technology. The probability of connectivity in wireless sensor networks depends on the structure and parameters that determine the network: characteristics of the service area (volume, flat, configuration, geometric dimensions), number of network nodes, characteristics of communication capabilities of network elements, antenna patterns, standards and protocols, communication range, transmitter power), features of the involved routing protocols.

Features of providing connectivity in wireless sensor networks lie in the possibility of using gateways built using various technologies, which can significantly expand the capabilities of wireless networks in increasing the likelihood of connectivity. A feature of the construction of wireless sensor networks are significant differences in traffic servicing in the networks of different technologies used.

Indicators of the quality of wireless networks, such as bandwidth, delay, probability of loss are interdependent and show how effectively the sensor network works. When you change one of the performance indicators of wireless sensor networks, it affects other quality indicators.

Key words: model, sensor networks, connectivity, efficiency, probability of connectivity, network traffic, communication channels.