

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра електронних обчислювальних машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Федорченко Анастасії Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Бездротова сенсорна мережа на основі інтелектуальних мобільних об'єктів

затверджена наказом по університету від “ 23 ” жовтня 2020 р. № 168Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 14 грудня 2020 р.

3. Вхідні дані до роботи метод колективного управління інтелектуальними мобільними об'єктами в групі.

Кількість інтелектуальних мобільних об'єктів в групі -3шт.

Можливість роботи з інтерфейсом Wi-Fi.

Операційна система – RTOC.

Технічне забезпечення: Drone Intel® Aero Ready To Fly.

Представлення вихідних даних: згідно нормативних документів.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1) огляд літератури за темою роботи

2) аналіз предметної області

3) вибір та обґрунтування методики дослідження

4) проведення експериментальних досліджень

5) висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

Демонстраційні матеріали. Плакати – 24 арк. ф. А4

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою роботи	27.10.20. - 09.11.20	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	10.11.20 - 17.11.20	
3	Вибір інструментальних засобів	18.11.20 - 23.11.20	
4	Проведення експериментів	24.11.20 - 01.12.20	
5	Оформлення матеріалів атестаційної роботи	02.12.20 - 07.12.20	
6	Подання атестаційної роботи керівникові та її попередній захист	08.12.20 - 09.12.20	
7	Подання атестаційної роботи на рецензування	10.12.20 - 11.12.20	

Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Токарев В.В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 78 с., 22 рис., 3 табл., 1 дод., 15 джерел.

БЕЗДРОТОВА МЕРЕЖА, ПРОТОКОЛ, В.А.Т.М.А.Н., GPS, M2M, WI-FI, WLAN, WSN.

Метою атестаційної роботи є розробка алгоритму взаємодії двох інтелектуальних мобільних об'єктів.

У ході виконання атестаційної роботи були розглянуті різні типи мереж, що самоорганізуються, і протоколів маршрутизації. Також був проведений аналіз сучасного стану наукових досліджень за темою магістерської атестаційної роботи. Було вирішено побудувати прототип мережі, що самоорганізується, на базі системи інтелектуальних мобільних об'єктів, які будуть обмінюватися даними між собою. Але необхідно врахувати, як буде відбуватися обмін інформацією всередині системи. Також необхідно провести порівняльний аналіз платформ розробки і зрозуміти, який стандарт передачі даних використовувати.

ABSTRACT

Master's thesis: 78 pages, 22 figures, 3 tables, 1 appendices, 15 sources.

INTERNET, GPS, M2M, PROTOCOL, WI-FI, WIRELESS NETWORK, WLAN, WSN.

The purpose of the certification work is to develop an algorithm for the interaction of two intelligent mobile objects.

In the course of attestation work the innovative tasks connected with construction of an intellectual stop are considered. It is proposed to use the paradigm of intelligent stopping systems for the development of the city's transport system. The current state of technologies in the field of intelligent stopping systems and intelligent transport systems is consistently analyzed, the requirements for functionality are formed by a separate study, planned by simulating the location of intelligent stopping systems, and the obtained result is evaluated.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	11
1.1 Мобільні самоорганізуючі мережі	12
1.2 Мережі опорних точок.....	13
1.3 Мережі датчиків.....	15
1.4 Область застосування	17
1.5 Протоколи маршрутизації.....	17
1.6 Аналіз існуючих протоколів.....	20
2 ПРОБЛЕМА МАРШРУТИЗАЦІЇ ДАНИХ	23
2.1 Протокол В.А.Т.М.А.Н.....	25
2.2 Огляд стратегій групового управління інтелектуальними мобільними об'єктами	26
2.3 Особливості колективного управління.....	27
3 ОГЛЯД ПЛАТФОРМИ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО ОБ'ЄКТА	37
4 РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІОНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	55
4.1 Алгоритм аналітичних розрахунків	59
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	63
ДОДАТОК А Графічний матеріал атестаційної роботи	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БПЛА – безпілотний літаючий апарат

НКУ – наземний комплекс управління

AODV – протокол динамічної маршрутизації для мобільних ad-hoc мереж

MANET (англ. Ad hoc On-Demand Distance Vector)

B.A.T.M.A.N. – покращений підхід до мобільної мережі Adhoc (англ., Better Approach To Mobile Adhoc Networking)

DSDV – маршрутизація на основі вектора відстані до пункту призначення (англ., Destination-Sequenced Distance-Vector Routing)

DSR – динамічна маршрутизація від джерела (англ., Dynamic Source Routing)

HDVG – протокол ієрархічної гео-маршрутизації вектора відстані (англ., Hierarchical Distance-Vector Georouting)

HWMP – гібридний протокол бездротової мережі (англ., Hybrid Wireless Mesh Protocol)

IEEE – інститут інженерів електротехніки та електроніки (англ., Institute of Electrical and Electronics Engineers)

LQSR – протокол маршрутизації джерела за якістю каналу (англ., Link Quality Source Routing,)

MANET – бездротова ad-hoc-мережа – децентралізована бездротова мережа, яка не має постійної структури (англ., Mobile Ad-hoc NetWork)

OLSR – протокол маршрутизації для MANET (англ., Optimized Link-State Routing)

TORA – алгоритм тимчасово впорядкованої маршрутизації (англ., Temporally Ordered Routing Algorithm)

Wi-Fi – бездротова точність, технологія бездротової локальної мережі (англ., Wireless Fidelity)

WSN – бездротова сенсорна мережа (англ., Wireless Sensor Network)

ZRP – протокол зональної маршрутизації (англ., Zone Routing Protocol)

ВСТУП

В даний час бездротові самоорганізуючі мережі різко розширили область свого застосування. Вони є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку інформаційно-комунікаційних мереж.

Актуальність таких мереж визначається стрімким розвитком мікроелектроніки і появою різних автономно діючих механізмів, які мають потребу в безперервному обміні інформацією зі своїм оточенням, а також з інформаційно-керуючими центрами.

Але, так як пристрої можуть переміщуватися, а бездротові з'єднання мають обмежений радіус дії, доступність вузла в невизначений момент часу не може бути гарантована. Це означає, що точну топологію мережі побудувати практично неможливо. Виходячи з цього, можна виявити основну проблему створення самоорганізуючих мобільних мереж – оптимальну побудову маршруту передачі даних від джерела до адресата.

Такі мережі можуть бути максимально корисні у віддалених населених пунктах, в місцях незвіданої дикої природи, на спецопераціях в зонах підвищеного ризику, в різних силових структурах, в транспортних системах, на підприємствах, де абсолютно кожний цифровий абонентський пристрій може сприяти процесу передачі важливої інформації до адресата.

Об'єктом дослідження є мобільна мережа, що самоорганізується.

Предметом дослідження є передача даних між рухомими мобільними пристроями.

Метою аттестайіонної роботи є побудова прототипу мережі, що самоорганізовується. За допомогою цього прототипу можливо провести оцінки ефективності протоколів побудови mesh-мереж.

Для досягнення поставленої мети були виявлені наступні завдання:

- розглянути відмінні риси бездротових мереж різних типів і вибрати найбільш підходящу для розгортання;

- розглянути варіанти реалізації програмно-апаратного прототипу, порівняти і вибрати оптимальний;
- реалізувати прототип мережі, що самоорганізовується, на основі інтелектуальних мобільних об'єктів і оцінити його ефективність.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Можна сміливо заявити, що відправною точкою розвитку бездротових мереж була розробка першого стандарту цифрової передачі даних GSM (від англ. - Group Special Mobile) близько 30 років тому.

Завдяки тому, що даний стандарт постійно вдосконалюється, він до цих пір використовується всіма операторами мобільного зв'язку.

Так у 1997 році з'явилася нова технологія обміну інформацією на великій відстані без необхідності використання дротів, яка отримала назву IEEE 802.11, більш відома широкому колу як WI-FI (від англ. - Wireless Fidelity).

В даний час з'явилися більш досконалі технології, покращилась якість і збільшилась швидкість переміщення даних.

Бездротовими мережами оповитий практично весь світ. Відносно скоро буде здійснено повний перехід на нову специфікацію 802.16, яка отримала назву WIMAX. Дана технологія здатна без втрати швидкості і якості значно розширити діапазон передачі даних з декількох сотень метрів по WI-FI до десятків кілометрів.

Існує два види бездротових мереж:

- інфраструктурна мережа – мережа, що володіє точкою доступу, що управляє обміном даних в межах бездротової зони покриття. Точка доступу визначає, які вузли можуть встановлювати зв'язок і в який час.

Цей режим роботи мережі найбільш популярний. При організації бездротових мереж окремі бездротові пристрої не можуть взаємодіяти між собою безпосередньо, а для того щоб це сталося, їм необхідний дозвіл від точки доступу, яка в свою чергу управляє всіма взаємодіями і забезпечує рівний доступ до мережі всім пристроям;

- мережа ad-hoc (від лат. ad-hoc - спеціально, може бути застосовано тільки для цього) – для спеціальної мети. Це найбільш проста бездротова

мережа, створена за допомогою об'єднання двох або більше бездротових клієнтів без наявності точки доступу. Всі клієнти всередині мережі ad-hoc рівноправні, що дозволяє організувати обмін файлами і інформацією між пристроями без витрат і складнощів, пов'язаних з придбанням і налаштуванням точки доступу.

В даний час нас цікавлять «ad-hoc мережі», які ще називають «mobile ad-hoc» і «mesh», маючи на увазі рівнозначність цих термінів. Але все ж такі бездротові самоорганізовані мережі слід розрізняти за структурою побудови, призначенням та елементному складу.

1.1 Мобільні самоорганізуючі мережі

Mobile Ad-Hoc NetWork (MANET-мережа) – бездротова децентралізована мережа, що самоорганізується, вузлами якої є випадкові мобільні пристрої. Управління цими пристроями організовано без присутності базових станцій або опорних вузлів (рисунок 1.1).

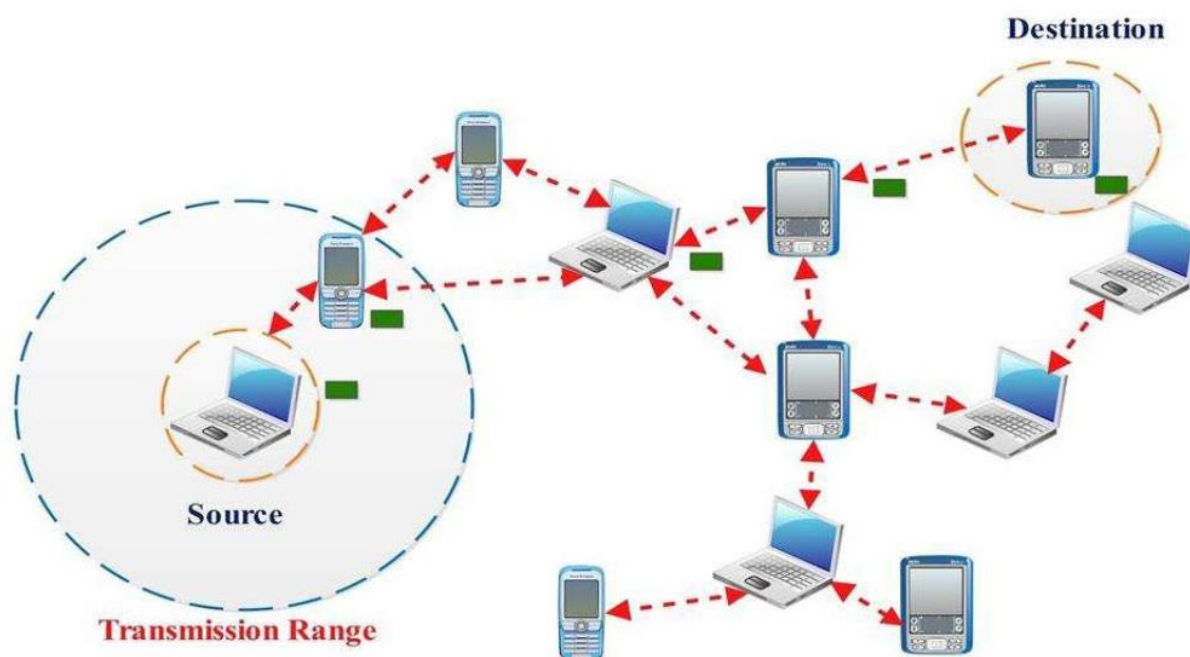


Рисунок 1.1 - Топологія мережі MANET

Такі мережі мають ряд особливостей:

- зважаючи на мобільність, присутнє додаткове підвищення динамічності топології мережі, так як крім втрати зв'язку через перешкоди або ж включення / вимикання вузла додається ще й можливість переміщення вузлів;

- при проектуванні протоколів і апаратних засобів необхідно враховувати енергоспоживання, так як запас джерел живлення мобільних пристроїв може бути обмежений.

Також MANET-мережі мають такі переваги над бездротовими мережами традиційної архітектури:

- стійкість до змін в інфраструктурі мережі;
- простота і висока швидкість розгортання;
- можливість передачі даних на великі відстані, не збільшуючи потужність передавача;
- можливість швидкої реконфігурації в умовах сильних перешкод.

На кожную перевагу знайдеться свій недолік. На сьогоднішній день можна виділити декілька класів проблем:

- проблема забезпечення завадостійкості;
- проблема забезпечення безпеки даних, що передаються;
- проблема загальної пропускної здатності мереж;
- проблема ефективності застосовуваних методів маршрутизації.

1.2 Мережі опорних точок

Multi-hop (Mesh-мережа) – мережа комірчастої структури, яка складається з бездротових статичних маршрутизаторів, що створюють бездротову зону покриття мобільних і стаціонарних абонентів, маючих доступ до одного з маршрутизаторів.

Mesh-мережі мають такі можливості:

- створення зон суцільного інформаційного покриття великої площі;

- надійна мережева інфраструктура;
- масштабованість мережі, а саме – збільшення площі зони покриття і щільності інформаційного забезпечення в режимі самоорганізації;
- використання бездротових транспортних каналів для зв'язку точок доступу в режимі «кожен з кожним»;
- так як мережа самовідновлюється, вона буде працювати, навіть якщо в мережі втрачено підключення або є несправний вузол.

Архітектура комірчастої мережі має вигляд багатозв'язного графа і складається з клієнтських пристроїв і деякої кількості вузлів, що утворюють основу мережі.

При з'єднанні вузлів кожен з кожним, вони самостійно можуть створювати маршрути передачі даних.

Також вони здатні виявити збої в сусідніх вузлах або, навпаки, появу нових вузлів, внаслідок чого маршрут автоматично перебудується.

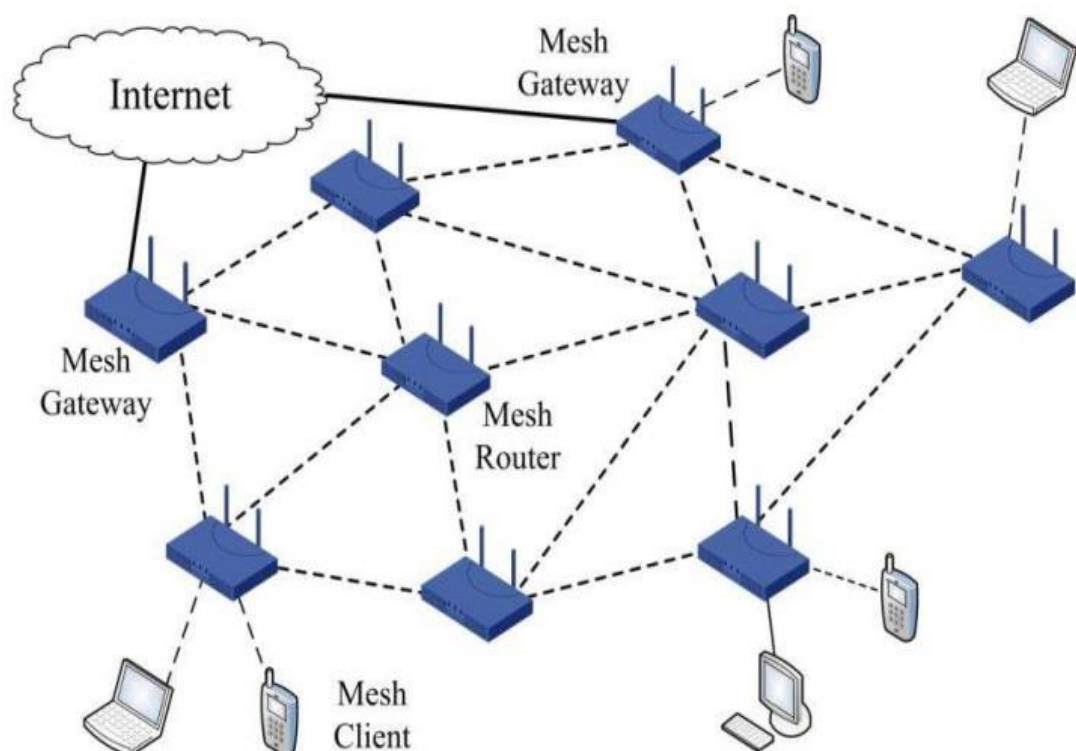


Рисунок 1.2 - Топологія мережі Mesh

З кожним днем технологія комірчастих мереж набирає обертів в набутті нових властивостей, хоч вона і не є специфічною для бездротових мереж. Так як між вузлами немає необхідності прокладати кабель, топологія мережі може без труднощів перебудуватися при простому переміщенні, видаленні або додаванні вузлів.

Mesh-мережею теоретично можна накрити абсолютно будь-яку територію. Але при цьому виникає основна проблема – як досягти необхідної кількості вузлів і забезпечити їх електроживленням.

Поки бездротові клієнти будуть переміщатися по території в межах зони покриття, вузли будуть займатися побудовою правильних маршрутів і забезпечувати постійний роумінг. У таких мережах трафік динамічно перенаправляється між вузлами для вибору оптимального проходження сигналу до маршрутизатора, що знаходиться на кордоні зони покриття.

Особливий вплив на напрямок трафіку мають фактори мінімальної кількості хопів (стрибків) між вузлами, а також їх завантаженість, пріоритет трафіку і ін. Іншими словами, mesh-мережа сама здатна підлаштуватися під конкретні ситуації і оптимізувати шляхи проходження сигналу.

1.3 Мережі датчиків

Wireless Sensor Network (WSN-мережа) - бездротова сенсорна мережа, що складається з малогабаритних сенсорних вузлів з інтегрованими функціями моніторингу певних параметрів навколишнього середовища, обробки і передачі даних по радіоканалах.

Такі мережі, в залежності від завдання, можуть будуватися як топології ad-hoc і mesh, так і як MANET і VANET (Vehicle Ad-hoc NETWORKS) – мережі зв'язку транспортних засобів і всілякі гібриди вищевикладеного.

Бездротові сенсорні мережі можуть використовуватися для передбачення відмови обладнання в аерокосмічних системах і автоматизації будівель. З огляду на свою здатність до автономності, самоорганізації і високої

відмовостійкості такі мережі активно застосовуються в системах безпеки і військових додатках.

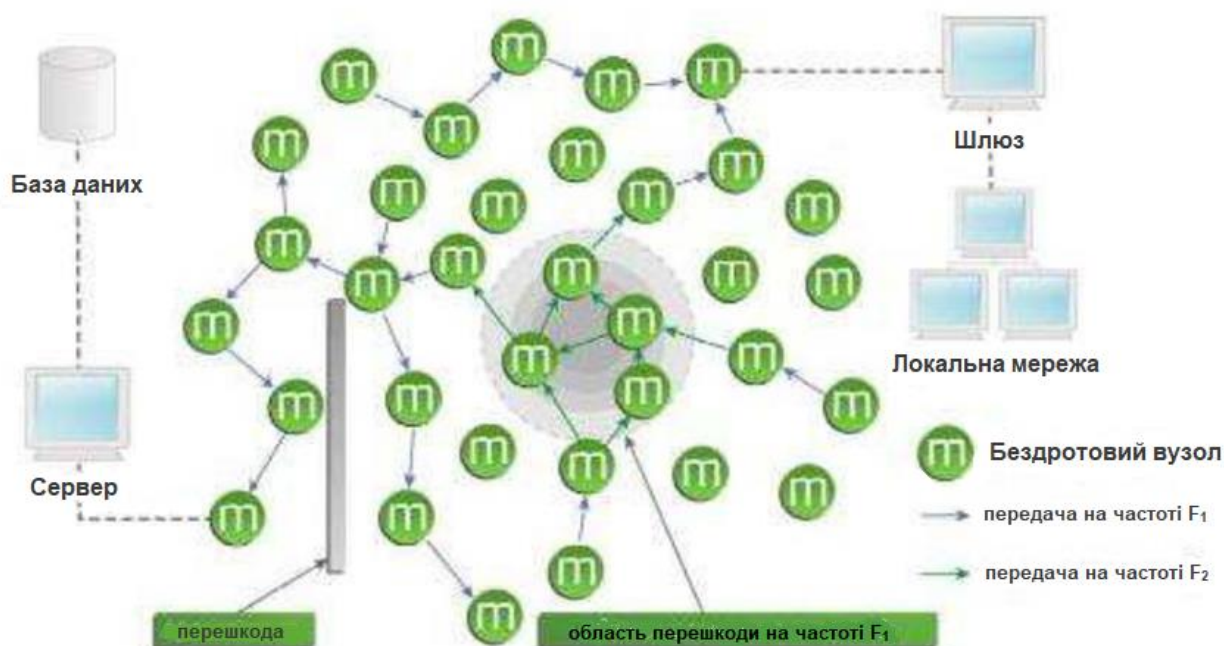


Рисунок 1.3 – Топологія мережі WSN

Застосування WSN-мереж в медицині для моніторингу здоров'я досить успішне. Це пов'язано з розробкою біологічних сенсорів, сумісних з інтегральними схемами сенсорних вузлів. Але найбільшого поширення бездротові сенсорні мережі отримали в області моніторингу навколишнього середовища і живих істот.

Через відсутність чіткої стандартизації в сенсорних мережах, існує кілька різних платформ, які відповідають основним базовим вимогам до сенсорних мереж:

- мала споживана потужність;
- тривалий час роботи;
- малопотужні прийомопередавачі і наявність сенсорів.

Основним стандартом передачі даних в WSN-мережах є IEEE 802.15.4, який спеціально був розроблений для бездротових мереж з малопотужними

прийомопередавачами.

1.4 Область застосування

Незалежність є однією з переваг самоорганізуючих мереж. При створенні мобільної мережі можна весь час залишатися на зв'язку, навіть ніяк не контролюючи її. Тут головне – велика кількість абонентів. Адже, чим щільніша мережа, тим вона і надійніша. Тому необов'язково перебувати в тих місцях, де присутня мережева інфраструктура.

Такі мережі можуть виявитися максимально корисними у віддалених населених пунктах, в місцях незвіданою дикої природи, на спецопераціях в зонах підвищеного ризику, де абсолютно кожний цифровий абонентський пристрій може сприяти процесу передачі важливої інформації до адресата.

Крім того, вони можуть використовуватися в розважальних цілях, в структурах МНС, в транспортних системах, на різних підприємствах, а також в домашніх мережах типу «Smart house».

Також в освоєнні самоорганізуючих мереж зацікавлені військові відомства і державні структури, так як в таких мережах дуже важко перехопити трафік і заборонити поширення інформації.

1.5 Протоколи маршрутизації

Так як мобільні самоорганізуючі мережі мають змінну топологію, то для її організації необхідно вирішити, як ефективно побудувати маршрут передачі пакетів між джерелом і адресатом.

Протоколи маршрутизації таких мереж прийнято поділяти на три основні групи:

- проактивні, або табличні (англ. proactive, table-driven);
- реактивні, або працюючі за запитом (англ. Reactive, table-driven);
- гібридні (англ. Hybrid) (рисунок 1.4).

Проактивні протоколи – припускають наявність таблиці маршрутизації на кожному вузлі, де вказані маршрути, які дозволяють досягти будь-якого абонента мережі. Кожен вузол мережі здійснює періодичний обмін керуючими повідомленнями для підтримки достовірності та цілісності інформації про структуру мережі. Такі протоколи, як OLSR, DSDV і B.A.T.M.A.N. є відмінними прикладами проактивних протоколів. Їх використання призводить до швидкого зростання завантаження мережі і енергоресурсів кожного вузла при збільшенні рухливості і кількості вузлів мережі.

Реактивні протоколи – не мають потреби в таблицях маршрутизації. Вузол самостійно шукає шлях до пункту призначення тільки при виникненні необхідності. Для встановлення зв'язку вузол може використовувати існуючий маршрут або створити новий маршрут, використовуючи інформацію про доступні канали. Єдиним недоліком даної групи протоколів є зростання затримок на пошук первинного маршруту при збільшенні рухливості і кількості вузлів. Прикладами реактивних протоколів є: DSR, AODV, TORA и LQSR.

Гібридні протоколи. Використовуються як правило, на практиці. Вони поєднують в собі підходи і проактивних і реактивних протоколів на різних рівнях ієрархії, визначаючи, крім методу пошуку маршруту, метод розбивки мережі на ієрархічні структури або домени. Недоліком гібридних протоколів є відносна складність реалізації і зниження ефективності маршрутизації, пов'язані з необхідністю розбиття структури мережі на кластери. Приклад: HWMP, HDVG и ZRP.

На кожному вузлі вводиться кеш повідомлень для запобігання безмежної лавинної ретрансляції hello-повідомлення.

Таким чином, кожен вузол може ретранслювати конкретне hello-повідомлення тільки один раз.

Отримавши раніше таке повідомлення, що міститься в кеші, вузол просто його обробляє.

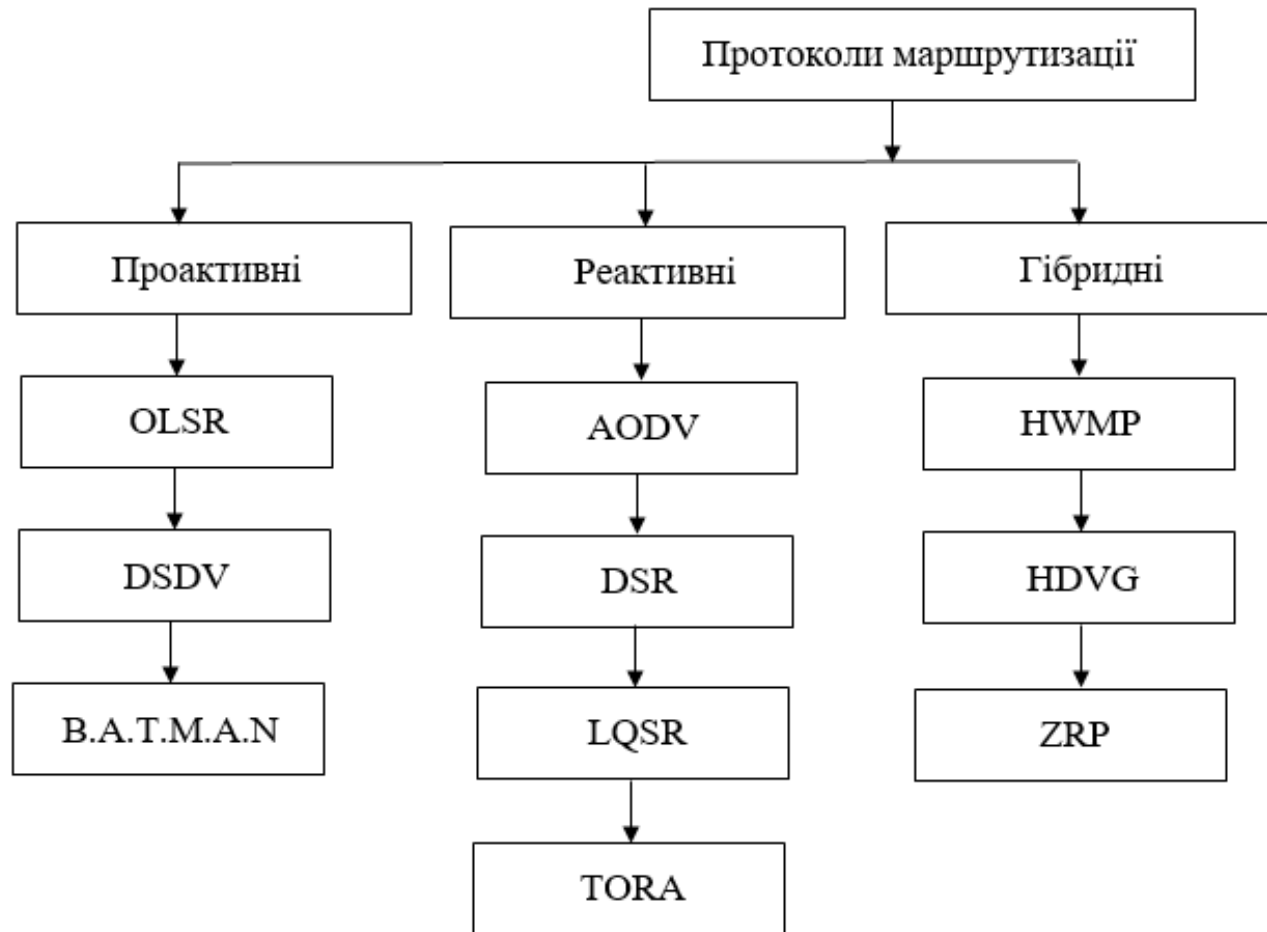


Рисунок 1.4 - Протоколи маршрутизації

Алгоритм обробки hello-повідомлення наступний:

- при отриманні hello-повідомлення поточний вузол витягує наступну інформацію з пакета: ідентифікатор вузла-джерела, географічні координати, час відправлення пакета;

- проглядається кеш історії. Якщо пакет з даним ідентифікатором і часом відправлення вже оброблявся, подальша обробка пакета припиняється, пакет не ретранслюється;

- якщо пакет з даним ідентифікатором і часом відправлення раніше не оброблявся, то інформація про ідентифікатор вузла-джерела і часу відправлення пакета заноситься в кеш для подальшого використання, пакет обробляється і ретранслюється (широкомовна розсилка).

У таблиці маршрутизації оновлюється поле «час актуальності запису». Відповідно до алгоритму маршрутизації оновлюється вектор маршруту до вузла-джерела.

1.6 Аналіз існуючих протоколів

В ІТ-літературі проведений дослідний аналіз алгоритмів маршрутизації та особливостей різних типів бездротових мереж.

Розглянуто Mesh-мережі, WSN-мережі, MANET-мережі, їх плюси і мінуси при різних умовах тестування (щільності вузлів і швидкості переміщення).

Також зроблений детальний огляд деяких протоколів маршрутизації. З проактивних – OLSR, заснований на зборі та поширенні службової інформації про стан мережі; DSDV, заснований на ідеї алгоритму маршрутизації Беллмана-Форда, який є класикою жанру, з деякими поліпшеннями.

З реактивних – це DSR, що накопичує інформацію про маршрут безпосередньо в пакеті запиту, а не в таблицях маршрутизації на вузлах; AODV, який для скорочення часу передачі пакетів між вузлами буде

таблиці маршрутизації на кожному вузлі мережі і завжди знаходить оптимальні шляхи маршрутизації незалежно від використання маршрутів.

З гібридних розглянуто протокол HWMP, який скорочує розміри таблиць маршрутизації, які ведуть вузли мережі, і скорочує обсяг службової інформації, що розсилається по мережі.

Протокол ZRP комбінує переваги проактивних і реактивних протоколів маршрутизації.

Можна зробити висновок, що проактивні протоколи переважають над реактивними за часом побудови маршруту, а також з'ясувалось, що розробка власних алгоритмів маршрутизації з метою підвищення ефективності передачі даних є актуальним завданням.

Проведено порівняльні характеристики протоколів в Ad-hoc мережах, такі як: час затримки при передачі службових пакетів і обсяг службового трафіка при передачі даних.

При використанні експериментальних Wi-Fi мереж, проведено порівняння протоколів OLSR і B.A.T.M.A.N. за критеріями середнього часу передачі файлів і відправки безлічі ICMP запитів.

Протестовано: час відновлення мережі, якість доставки повідомлень і навантаження на мережу в процесі роботи протоколів OLSR, B.A.T.M.A.N. і DSR в мобільній мережі всередині будівлі. Нижче наведені таблиці в яких виконано порівняння параметрів деяких протоколів маршрутизації, таких як: маршрутна структура, число таблиць маршрутизації, частота оновлення таблиць маршрутизації, методи розрахунку маршрутів, методи зберігання інформації про маршрути, а також їх основні особливості, переваги і недоліки (таблиці 1.1-1.2) .

Проаналізувавши наведені таблиці можна сказати, що реактивні протоколи відрізняються великими затримками, ніж проактивні, і використовують більш довгі маршрути для передачі даних, ніж проактивні. Протоколи, які використовують таблиці маршрутизації, в свою чергу доставляють інформацію з великими втратами і споживають більше трафіку

на передачу службової інформації, ніж протоколи, що використовують інформацію лише про поточні маршрути.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз основних характеристик проактивних протоколів

Ім'я	Маршрутна структура	Число таблиць	Частота оновлення	Особливості
DSDV	Пласка	2	Періодично і за запитом	Захист від петель
OLSR	Пласка	3	Періодично	Захист від петель на підставі попередньої інформації

Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз основних характеристик реактивних протоколів

Ім'я	Маршрутна структура	Численні маршрути	Метод розрахунку маршруту	Зберігання маршрутів
AODV	Пласка	Ні	Новий найкоротший шлях	Маршрутна таблиця
DSR	Пласка	Так	Найкоротший шлях або наступний в маршрутній таблиці	Кеш маршрутів

2 ПРОБЛЕМА МАРШРУТИЗАЦІЇ ДАНИХ

Однією з основних проблем маршрутизації даних в мобільних мережах є висока динаміка топології мережі, що вимагає постійної актуалізації шляхів передачі даних між мобільними абонентами і інфраструктурою. Для вирішення цього завдання зазвичай використовуються протоколи динамічної маршрутизації мережевого рівня, розроблені спеціально для мобільних мереж, такі як OLSR, B.A.T.M.A.N., AODV.

В умовах досить високої динаміки і постійного застосування декількох технологій передачі даних стає актуальним дослідження часу реакції протоколу на зміну топології мережі. Дана проблема зумовлює необхідність вироблення рекомендації про застосування протоколів динамічної маршрутизації мережевого рівня. В групі інтелектуальних мобільних об'єктів, де самостійно організована мережа для їх комунікації, зв'язок повинен постійно підтримуватися, навіть якщо з незрозумілих причин частина пристроїв буде відключена або виведена з ладу. Цим вимогам відповідають такі стандарти передачі даних, як Wi-Fi і ZigBee. Розглядаючи ці варіанти, можна виділити як плюси, так і мінуси у кожного (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика стандартів передачі даних

Стандарт/ критерій	Wi-Fi	ZigBee
Гнучкість в топології	-	+
Низьке енергоспоживання	-	+
Вартість	+	-
Реалізація	Пристрої можуть мати різні ролі	Всі пристрої рівнозначні

Стандарт ZigBee має велику гнучкість в топології з'єднання і низьке енергоспоживання, але, проте, він вимагає дороге обладнання. Використання Wi-Fi має повну протилежність: низька ціна модулів, але високе енергоспоживання і менш гнучка організація топології мережі. Для вирішення нашої задачі будь-який з цих стандартів зв'язку ідеально підходить, ось тільки реалізація буде серйозно відрізнятися.

З використанням ZigBee питання створення мережі буде вирішуватися апаратно, всі пристрої є рівнозначними. Це означає, що повідомлення, відправлене будь-яким мобільним роботом, отримають одночасно всі учасники мережі, або конкретно один.

З використанням Wi-Fi, будь-який мобільний пристрій може виступати як в ролі точки доступу, так і в ролі підєднуємого до неї пристрою. При використанні протоколів передачі даних необхідно буде організувати TCP / IP канал. Тобто в групі мобільних роботів досить буде одному з них взяти на себе роль TCP-сервера, щоб інші підключилися до нього в режимі TCP-клієнтів.

З урахуванням вартості бортового обладнання мобільних пристроїв, для подальшої реалізації було вирішено створити мережу на основі Wi-Fi.

Ідея самоорганізуючої мережі полягає в тому, що якщо виникнуть проблеми з інтернетом у одного з користувачів, наприклад, знизиться швидкість або взагалі пропаде зв'язок, то можна буде скористатися інтернетом своїх сусідів. Також можна завантажити великий обсяг інформації через кілька каналів одночасно, якщо мережа не перевантажена.

Але бувають випадки, коли мережа знаходиться в постійному русі, наприклад, мережа, в якій в якості вузлів можуть виступати транспортні засоби або просто геологи-дослідники, що переміщаються цільовими групами. Тут проблем з оптимальною передачею трафіку стає більше.

Про те, як на основі вільних апаратних і програмних засобів розгорнути свою mesh-мережу, готову надати повноцінні сервіси самоорганізуючої приватної мережі своїм користувачам, на сьогоднішній

день немає повної і точної інформації.

Теоретично питання про налаштування існуючих протоколів та спеціальних операційних систем комунікаційного обладнання в тій чи іншій мірі розкрито. Можна об'єднати в комірчасту топологію Wi-Fi маршрутизатори і підключити до них інтелектуальні мобільні пристрої, які можуть бути в русі.

У світі існує багато досліджень, в яких інтелектуальні мобільні пристрої дотримуються закладеного алгоритму незалежно від інших, самі по собі. Але при виконанні різних завдань малоімовірно, що один інтелектуальний мобільний пристрій впорається, так як його можливості завжди будуть обмежені наявним обладнанням, зарядом акумуляторів, радіусом дії і іншими факторами.

Тому раціональніше використовувати групу інтелектуальних мобільних пристроїв, які можуть виконувати різні дії, але при цьому будуть пов'язані спільною метою. Тобто організувати мережецентричну систему управління мобільними пристроями, що припускає прийняття рішень всередині системи. Можливість взаємодії між інтелектуальними мобільними пристроями дозволить ефективніше оцінювати наявні ресурси і приймати рішення в умовах невизначеності.

Причому необхідно враховувати, як буде відбуватися обмін інформацією про топологію і підключення всередині системи. Потрібен добре продуманий протокол, який враховує всі обмеження пристроїв і передбачить можливість відповідного підлаштування.

2.1 Протокол В.А.Т.М.А.Н.

Даний протокол розроблений для мобільних мереж і дозволяє знаходити маршрути передачі даних після реконфігурації мережі. Він розробляється в даний час спільнотою «Freifunk» як заміна протоколу OLSR. Їх відмінності полягають у тому, що протокол В.А.Т.М.А.Н. розраховує

вектор відстаней і на його основі вибирає наступний перехід, а OLSR буде повний шлях до адресата. Основною особливістю В.А.Т.М.А.Н. є децентралізація відомостей про кращий маршрут в мережі – жоден вузол не володіє всіма даними. З використанням цієї техніки відпадає необхідність у поширенні інформації про зміни в мережі на всі вузли. Кожен вузол зберігає інформацію тільки про «напрямок», з якого надходять дані, і так само їх відправляє. Таким чином, вузли передають один одному пакети по динамічно створюваним маршрутами. В.А.Т.М.А.Н. не намагається визначити весь маршрут, а тільки перший крок пакета в потрібному напрямку. Дані пересилаються сусідові в цьому напрямку, який використовує той же механізм. Процес повторюється, поки дані не досягнуть мети. Такий підхід дозволить дослідити відмінність часу передачі даних різного розміру на різних швидкостях в умовах наявності або відсутності перешкод.

2.2 Огляд стратегій групового управління інтелектуальними мобільними об'єктами

Проблема управління множиною мобільних технічних об'єктів, які мають спільно виконати певне завдання, є актуальною у багатьох сферах сучасного життя. Так, ця проблема виникає у практиці збору даних щодо великих об'єктів, територій, має місце у робототехніці, тощо. У технічній сфері будь-яка система, яка складається з окремих вузлів (наприклад, група процесорів у багатопроцесорній обчислювальній системі) може розглядатись як об'єкт групового управління (управління колективом).

Зрозуміло, що управління колективом інтелектуальних технічних об'єктів з метою виконання ними певного завдання, з одного боку, потребує розробки методів і алгоритмів управління взаємодії окремих інтелектуальних засобів для досягнення загальної цілі «колективу», а з іншого боку – розробки методів і засобів реалізації цих взаємодій засобами колективу у

реальному часі і з урахуванням змін, що відбуваються у середовищі їх функціонування.

Нажаль немає достатньо узагальнених підходів і методик розв'язання задач управління колективом інтелектуальних технічних засобів з автономною системою пересування й навігації, які оснащені «органами» для реалізації конкретних завдань, функціонуючих в непередбачуваному недетермінованому середовищі, зокрема в умовах короткочасних вражаючих впливів.

2.3 Особливості колективного управління

У багатьох дослідженнях показано, що один, навіть інтелектуальний мобільний технічний засіб, не завжди може ефективно виконувати задачі колективу, зокрема, через невеликий, як правило, радіус дії, обмежений енергетичний ресурс, обмежену кількість операцій, які він здатний виконувати, і, нарешті, невисоку ймовірність досягнення цілі в екстремальних умовах, пов'язаних з можливістю виходу з ладу цього засобу.

Тому більш ефективним є розв'язання завдань одночасно кількома такими інтелектуальними мобільними засобами, тобто групою. Застосування групи дозволяє збільшити радіус дії за рахунок розосередження мобільних засобів по всій необхідній площині, розширити набір функцій, які можуть бути виконані, забезпечити більш високу ймовірність виконання цілі розв'язання завдання – за рахунок перерозподілу завдань між окремими членами групи під час виходу з ладу деяких з них.

Однак при груповому використанні мобільних інтелектуальних технічних засобів, які оснащені автономною системою пересування і навігації і здатні до виконання певних функцій, виникають складні задачі, пов'язані, у першу чергу, з проблемою управління такими засобами і організацією колективної їх взаємодії для найбільш ефективного досягнення цілі.

Практика вирішення задач управління множиною технічних об'єктів свідчить, що у разі управління рухом групи, рух окремого об'єкта групи неважливий, необхідно визначити характеристики руху усієї сукупності об'єктів, що утворюють складну просторово-часову структуру. У разі ж управління рухом об'єкта у складі групи, стають важливими характеристики руху окремого об'єкта і його поведінки і взаємодії з іншими об'єктами групи. Управління спрямоване на забезпечення виконання загальносистемної цілі множиною технічних об'єктів.

Базовими властивостями мобільних інтелектуальних технічних об'єктів на сьогодні є:

- автономність дій;
- здатність до планування і прийняття рішень;
- здатність до впливу на середовище, інтелектуальність на основі представлення знань і цілеспрямованих проблемно-орієнтованих суджень;
- здатність до інформаційної взаємодії.

Група технічних об'єктів з колективним управлінням може бути представлена як система:

$$\Omega = \{O, E, G\},$$

де O – множина (група) технічних об'єктів, що утворюють відповідну просторово-часову структуру при функціонуванні системи;

E – система каналів обміну інформацією;

G – загальносистемна ціль функціонування.

У найбільш загальному вигляді окремий технічний об'єкт групи з N об'єктів може бути поданий:

$$O_i = \{E_{ij}, G_i, A_i, C_i, B_i\},$$

де E_{ij} – матриця, що описує зв'язки об'єкта з іншими об'єктами групи,
 $i=\overline{1,N}, j=\overline{1,N}$;

G_i – множина цілей об'єкта;

A_i – множина характеристик автономності, самоорганізації об'єкта;

C_i – множина стратегій поведінки;

V_i – база знань i -го об'єкта.

Загальносистемну ціль, у більшості прикладних задач, визначає певний об'єкт (структура) більш високого рівня. Окремий об'єкт групи може пересуватись у просторі, виконувати обмін інформацією з іншими об'єктами групи щодо формування цілі, змін в умовах функціонування і поведінці. Непередбачуваність середовища функціонування і наявність вражаючих впливів потребує наявності у окремих об'єктів з групи (в залежності від ступеню інтелектуальності) змоги самостійно формувати цілі на основі наявної бази знань окремого об'єкта і аналізу ним поточної інформації від інших об'єктів групи і з середовища.

Приналежність до групи вимагає здатності до узгодження своєї поведінки з поведінкою інших об'єктів групи завдяки обміну інформацією з іншими об'єктами групи, зокрема, щодо визначення повноважень, оповіщення про можливості дій, стан середовища, поточний стан інших об'єктів з групи, інформування про виконання чи неможливість виконання свого завдання тощо.

У разі колективного управління якість взаємодії та обміну інформацією характеризується:

- орієнтованістю;
- селективністю;
- інтенсивністю;
- динамічністю;
- інформативністю;
- стійкістю взаємодії об'єктів групи.

Принципи колективного управління для групи мобільних інтелектуальних технічних об'єктів можна визначити наступним чином:

- кожний об'єкт групи самостійно формує своє управління (визначає свої дії) у поточній ситуації;
- формування управлінь (вибір дій) об'єктом групи виконується тільки на основі інформації щодо загальносистемної цілі, ситуації в середовищі у попередній та поточний момент часу, щодо попередніх та поточних станів та дій інших об'єктів групи;
- оптимальним управлінням вважається такий стан (дія) кожного об'єкта групи у поточний момент, який вносить максимально можливий внесок у досягнення загальносистемної цілі;
- оптимальне управління реалізується об'єктами групи упродовж найближчого відрізка часу у майбутньому, а потім визначається нове управління;
- допускається прийняття компромісних рішень, які задовольняють всі об'єкти групи.

Для організації систем управління групами мобільних технічних об'єктів доцільно використовувати деякі загальні стратегії.

Розрізняють три принципових підходи до вибудовування стратегії управління групами мобільних інтелектуальних об'єктів (рисунок 2.1).

Перший підхід – передбачає централізоване єдинопочаткове формування стратегії управління, яке виконується деяким «центром» (стаціонарним або мобільним), який отримує і обробляє всю необхідну інформацію, планує і керує діями всіх об'єктів групи (рисунок 2.2). Основним недоліком централізованих стратегій є низька живучість такої системи, адже вихід з ладу центру управління унеможлиблює подальше виконання завдання. Наступні дві стратегії передбачають децентралізоване або розподілене управління, яке не передбачає в системі наявності будь-якого центру, а всі об'єкти групи самостійно приймають рішення щодо своїх дій, максимізуючи ефект досягнення спільної мети.

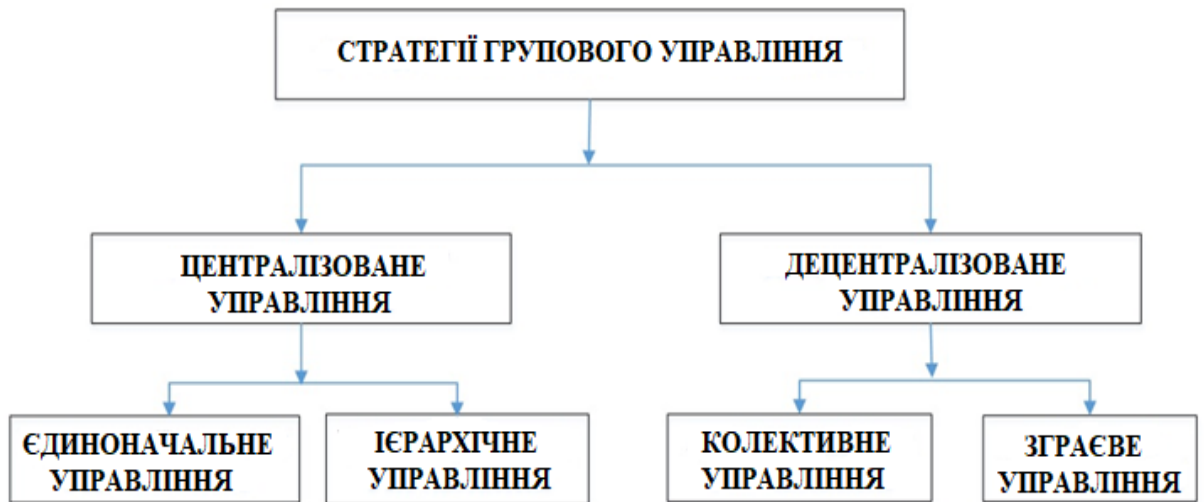


Рисунок 2.1 – Стратегії управління групами мобільних інтелектуальних об'єктів

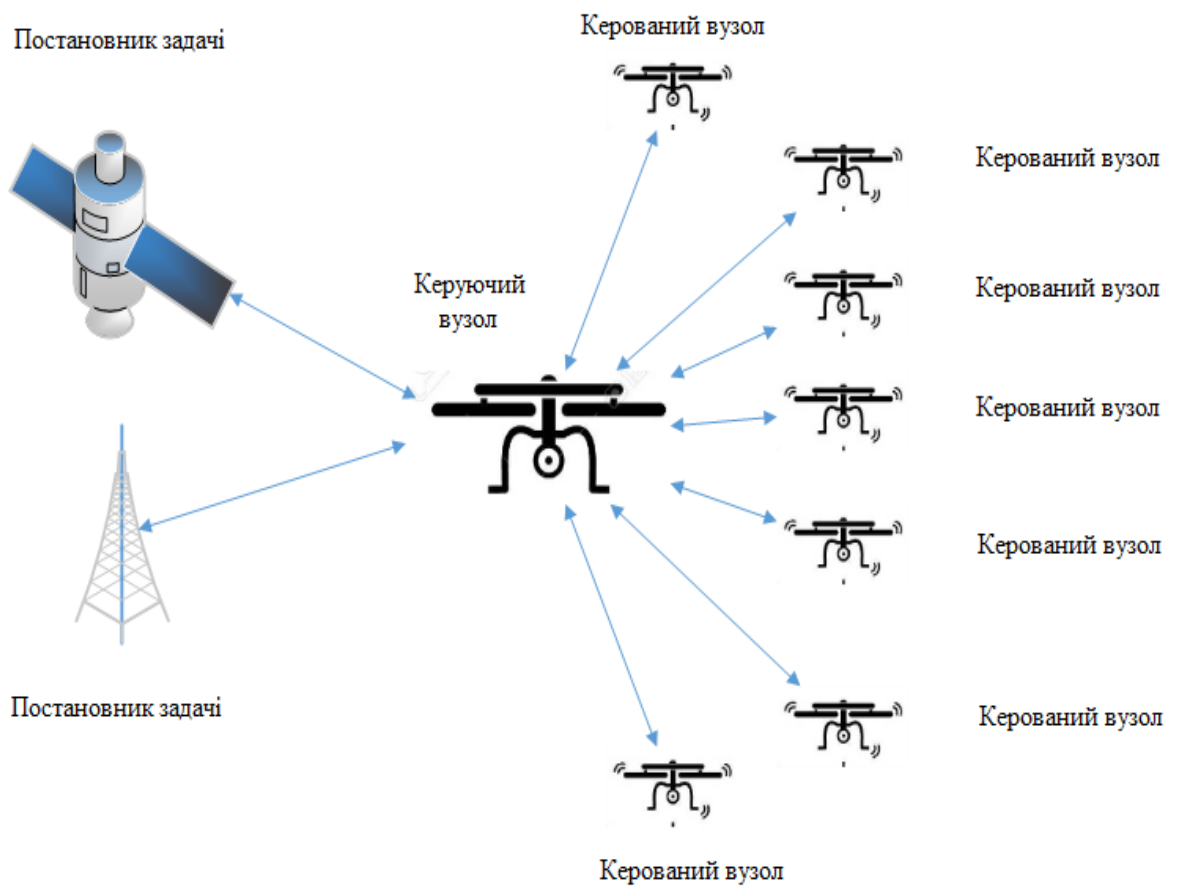


Рисунок 2.2 – Централізована єдиноначальність

Другий підхід – передбачає централізоване ієрархічне формування стратегії управління. На відміну від централізованої єдиноначальної стратегії групового управління, при ієрархічній стратегії істотно знижується складність задачі, розв'язуваної окремим «центром», що, в свою чергу, підвищує рівень оперативності прийняття рішень.

Однак, з іншого боку, ускладнення структури управління може призводити до значних затримок (і навіть збоїв) в передачі команд від верхнього до нижнього рівня. Крім того, структура підпорядкованості в групі, що використовує ієрархічну стратегію управління, повинна бути встановлена заздалегідь і не змінюватися в процесі рішення групової задачі (рисунок 2.3).

Всі системи групового управління, що використовують централізовану стратегію, мають істотний недолік – це їх низька живучість.

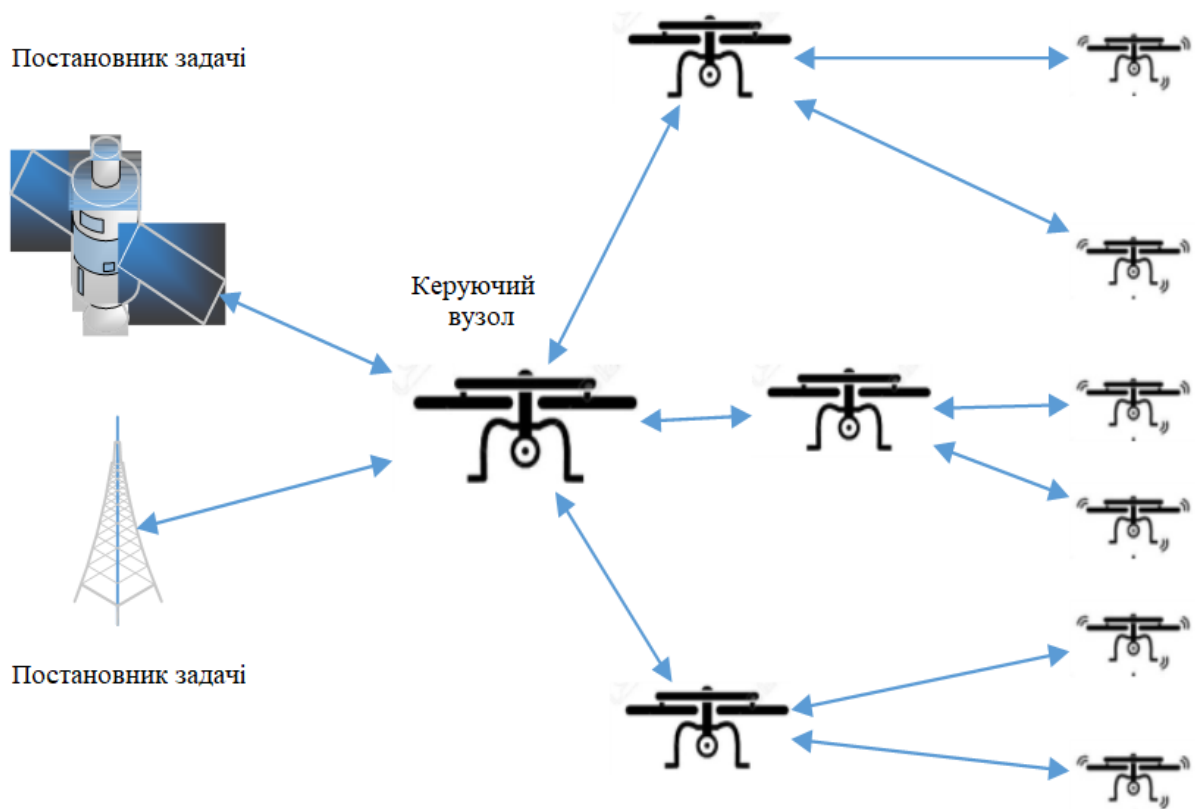


Рисунок 2.3 – Централізоване ієрархічне формування стратегії управління

Третій підхід – децентралізована колективна стратегія прийняття рішення і управління переноситься всередину групи і покладається на самі об'єкти.

Між об'єктами управління відбувається активний обмін поточною інформацією, а також результатами аналізу ситуації засобами і методами, які задіяні в окремих об'єктах. Це вимагає організації високонадійного каналу зв'язку для забезпечення групової взаємодії. Складність реалізації цього підходу також пов'язана з об'єктивними конфліктними ситуаціями, які виникають при колективному прийнятті рішень.

Основою вирішення конфліктних ситуацій при колективному управлінні може стати єдина платформа знань на всіх об'єктах групи, гарантуючи, що всі роблять однакові логічні висновки з подібних передумов.

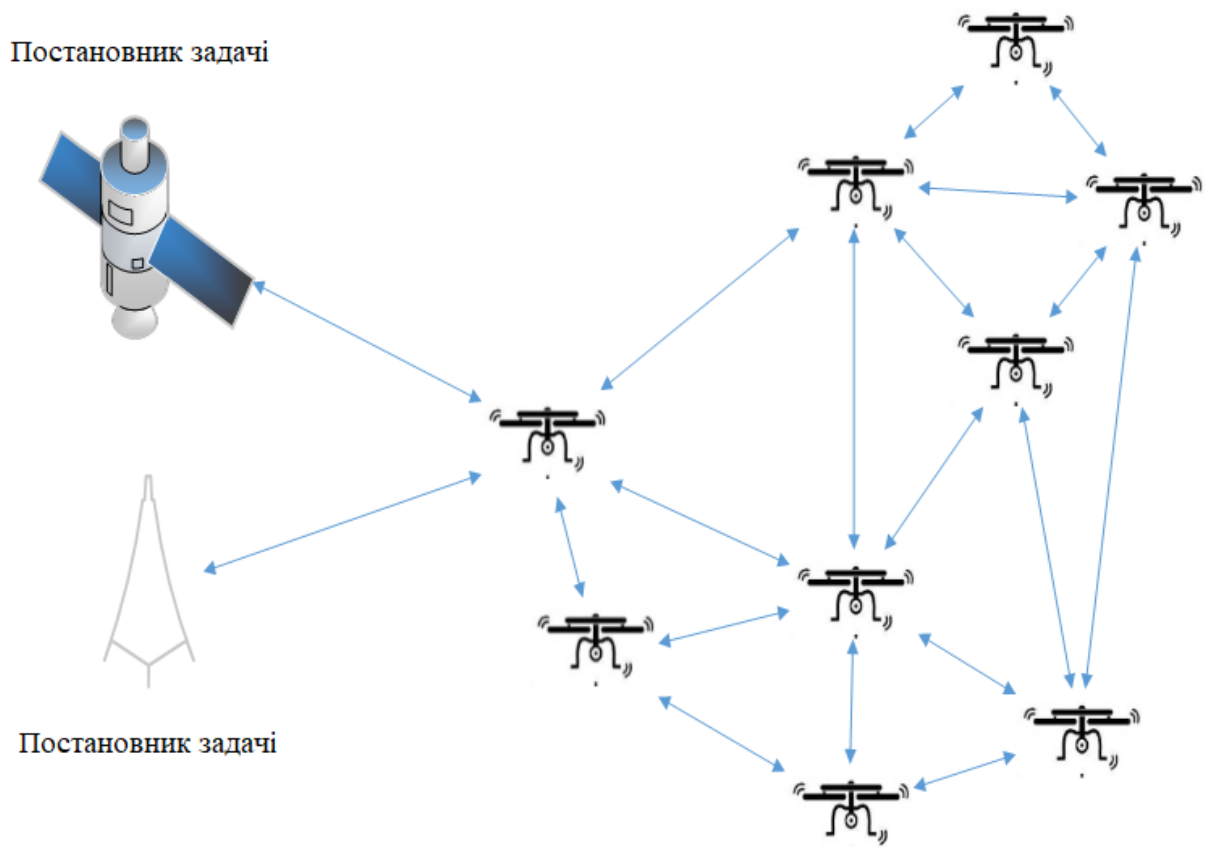


Рисунок 2.4 – Децентралізована колективна стратегія прийняття рішення і управління

Четвертий підхід – децентралізована «зграйна» стратегія управління. Коли кожен об'єкт групи приймає рішення самостійно, (обмінюючись інформацією з іншими з групи, тільки в особливому випадку) спираючись на власний досвід – самостійне формування стратегії.

Цей підхід, який ще називають «зграя», реалізується в тому випадку, коли кожен об'єкт групи виконує своє завдання і тим самим вносить особистий внесок у вирішення спільних системних задач групи.

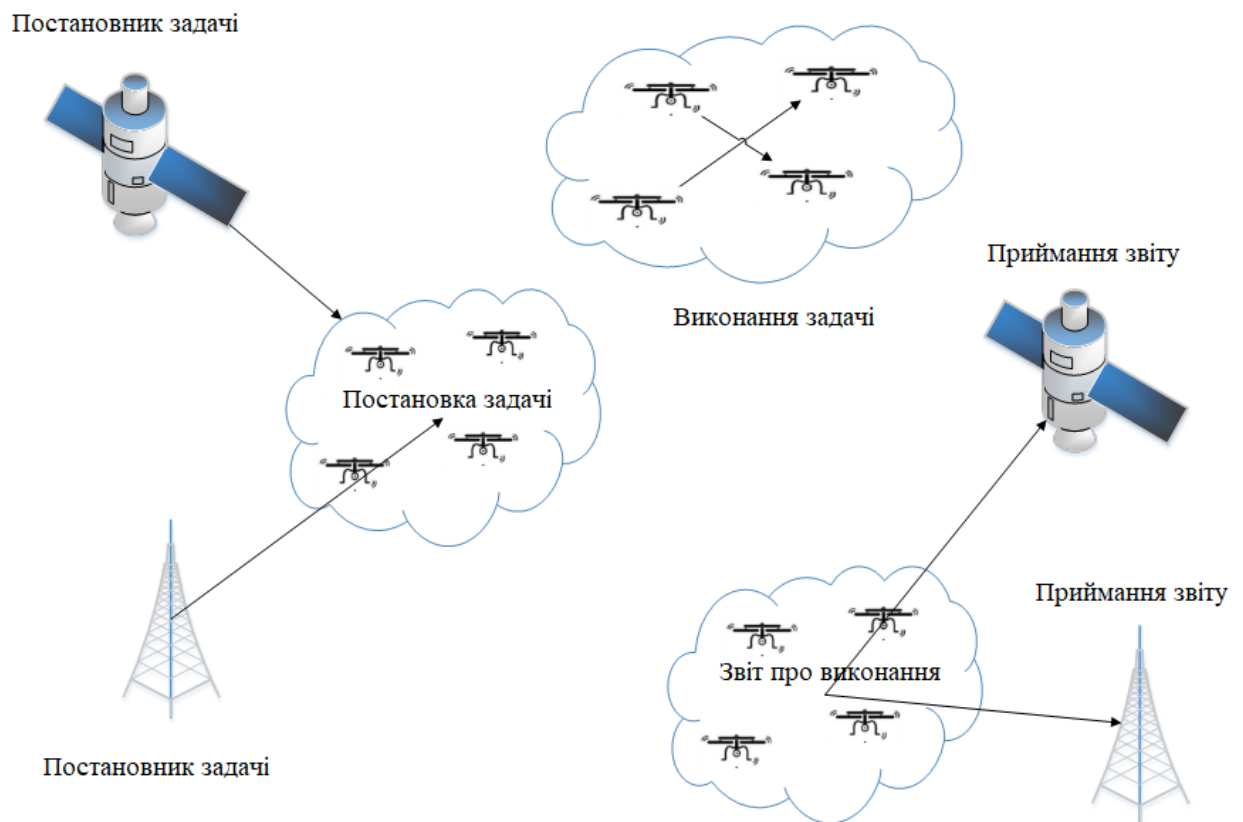


Рисунок 2.5 - Децентралізована «зграйна» стратегія управління

Задача окремого об'єкта буде порівняно нескладною, оскільки він вирішує задачу оптимізації тільки своїх дій у складі групи, а не оптимізує дії всієї групи.

Окремий об'єкт може навіть не мати зв'язку з іншими групами, але на основі непрямой інформації про зміни стану середовища, викликаних діями

інших об'єктів, може змінювати свої дії для досягнення спільної мети.

Децентралізовані стратегії дозволяють зменшити час прийняття рішень. При використанні децентралізованої колективної стратегії прийняття рішення зростає лінійно зі збільшенням кількості об'єктів.

При застосуванні стратегії «згряя», прийняття рішення не залежить від кількості об'єктів в групі, а визначається тільки інерційністю самих об'єктів.

Аналізуючи використання різних типів стратегій групового управління в різних групах живих і неживих об'єктів можна зробити висновок, що вибір тієї чи іншої стратегії залежить, перш за все, від вимог, що пред'являються до швидкості (або часу) вироблення рішення про дії об'єктів, що входять в групу.

При централізованій єдиноначальній стратегії управління «центр» приймає рішення про дії всіх об'єктів групи. При цьому час прийняття рішення зростає експоненціально від числа N об'єктів в групі, як показано на малюнку. При використанні централізованої ієрархічної стратегії час прийняття рішення знижується за рахунок розбиття загальної задачі на підзадачі, які вирішуються окремими підрозділами групи.

При використанні децентралізованої колективної стратегії групового управління кожен об'єкт групи приймає рішення про свої дії самостійно, інформуючи про свій вибір всіх інших членів групи з метою оптимізації групового рішення. Найменший час прийняття рішення досягається при використанні зграєвої стратегії управління.

Важливою перевагою децентралізованих стратегій групового управління є підняття в цілому живучості групи. Оскільки всі технічні об'єкти рівнозначні в групі, то втрата або пошкодження будь-якого з них не призводить до втрати працездатності всієї групи. І підвищення живучості групи досягається без додаткових витрат, а тільки за рахунок самої децентралізованої організації групового управління. Стратегії децентралізованого групового управління складно алгоритмізувати і до того ж, вони не гарантують оптимальність рішення групової задачі. І в разі

підвищених вимог до живучості групи мобільних технічних об'єктів слід вибирати децентралізовані стратегії управління групою.

Аналіз розвитку стратегій групового управління показує, що на практиці можливе використання змішаних (комбінованих) стратегій, особливо при настанні швидких змін в недетермінованому середовищі.

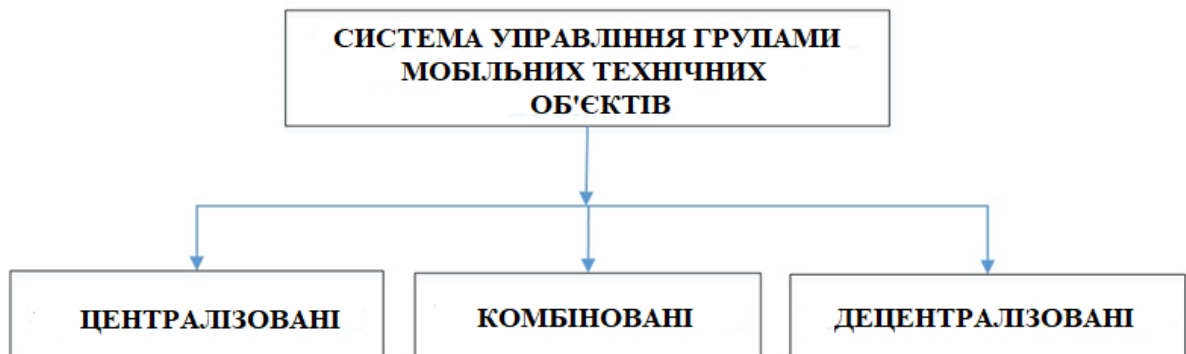


Рисунок 2.6 – Класифікація систем управління групою мобільних об'єктів

Перехід від ієрархічного управління до «зграйного» при втраті центрів управління або пошкодженні інформаційних структур. Вибір конкретної стратегії залежить від загальної мети і умов функціонування групи (стаціонарність середовища і темп зміни ситуації), вимог по швидкості прийняття і якості отриманого рішення (його оптимальності), можливостей кожного з об'єктів групи.

З ОГЛЯД ПЛАТФОРМИ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОБІЛЬНОГО ОБ'ЄКТА

Для постановки експерименту передачі даних в мультикоптерній мережі використовувався інтелектуальний мобільний об'єкт – Drone Intel[®] Aero Ready To Fly (рисунок 3.1). Обґрунтуванням для використання даної моделі є:

- наявність можливості програмної реконфігурації;
- гнучка програмно-апаратна архітектура;
- широкий спектр пристроїв для сполуки з забезпечуючим програмно-апаратним комплексом Drone (магнітометри, безпроводні модулі, тощо).



Рисунок 3.1 – Drone Intel[®] Aero Ready To Fly

Загальний опис обраного пристрою.

1. Чотиригвинтовий безпілотний літальний апарат (Drone) з акумулятором, що містить:

- фюзеляж із вуглепластику;
- модулі GPS и компас;
- розподільна плата живлення;
- 4 електронних контролера швидкості;

- 4 електродвигуни;
- 8 дворівневих гвинта;
- послідовний приймач Spektrum DSMX;
- передавач Spektrum DXe (2,4 ГГц DSMX);
- обчислювальна плата Intel® Aero Compute Board.

2. Обчислювальна плата Intel® Aero Compute Board, що містить:

- процесор Intel Atom® x7-Z8750;
- оперативний запам'ятовуючий пристрій 4 ГБ LPDDR3-1600;
- вбудована енергонезалежна система пам'яті 32 ГБ eMMC;
- роз'єм для карт пам'яті microSD;
- роз'єм M.2 1-канального PCIe для твердотілого накопичувача;
- дводіапазонний адаптер Intel® Wireless-AC 8260;
- роз'єм USB 3.0 OTG;
- програмоване введення-виведення через Intel® MAX® 10 FPGA;
- камера 8 МП, RGB (фронтальна);
- камера VGA, єдиний затвор, монохромна (напрямок вниз).

3. Програмне забезпечення:

- вбудована ОС Linux, Yocto Project;
- InsydeH2O – оптимізована версія BIOS UEFI для платформи Intel®

Aero Platform for UAV.

Багато задач, які вирішуються сучасними комплексами безпілотних літальних апаратів, вимагають наявності високошвидкісних ліній передачі інформації між БПЛА і наземним комплексом управління.

Наприклад, завдання оперативного моніторингу або передачі Big Data за допомогою технологій БПЛА передбачають отримання на борту і доставку на НКУ растрових зображень різного дозволу, одержуваних з датчиків різних діапазонів довжин хвиль.

Найбільш поширена на сьогоднішній день технологія передачі інформації полягає в безперервній трансляції зображення під час його отримання в цифровому або аналоговому форматі, структура якого не

змінюється протягом усього польоту. Необхідно врахувати, що безперервна трансляція зображень має такі особливості:

- значна частина візуальної інформації може не мати шуканих ознак;
- відсутня гарантія достовірної доставки інформації;

Існуюча технологія доставки зображення не ефективно використовує ресурси радіоканалу. У зв'язку з цим стає актуальним вирішення наступних завдань:

- реалізація функції гарантованої доставки (особливо для зображень високого просторового дозволу);
- реалізація адаптивного зниження дозволу відеопотоку в залежності від актуального бюджету каналу зв'язку;
- реалізація можливості отримання минулого знімка в повному дозволі з метою уточнення деталей зображення;
- створення адаптивної системи передачі інформації, здатної ефективно використовувати енергетичний і спектральний ресурс каналу зв'язку.

Як правило, на борту БПЛА розміщуються не менше двох систем зв'язку: дуплексна / напівдуплексна апаратура передачі командно-телеметричної інформації та симплексна система передачі інформації корисного навантаження.

Апаратура передачі командно-телеметричної інформації призначена для низькошвидкісної передачі командної інформації з НКУ на борт БПЛА і малої швидкості передачі телеметричної інформації з борту БПЛА на НКУ.

Апаратура передачі інформації корисного навантаження призначена для односторонньої високошвидкісної передачі інформації корисного навантаження з борту БПЛА на НКУ. На рисунку 3.2 показані можливі варіанти реалізації систем зв'язку комплексів БПЛА.

Прямий зв'язок між БПЛА і НКУ в діапазонах НВЧ можлива тільки в межах прямої видимості.

Для підвищення надійності комплексу БПЛА на борту встановлюються

кілька приймачів різних діапазонів довжин хвиль. Передача телеметричної інформації при польотах на великі відстані може здійснюватися за допомогою супутникових систем зв'язку (Iridium, Globalstar і ін.).

Високошвидкісна передача інформації корисного навантаження може також здійснюватися через малорозмірні супутникові термінали, що вимагає установки на борт ЛА високонаправленої антени з можливістю сканування. У найпростішому випадку це параболічна антена на опорно-поворотному пристрої.



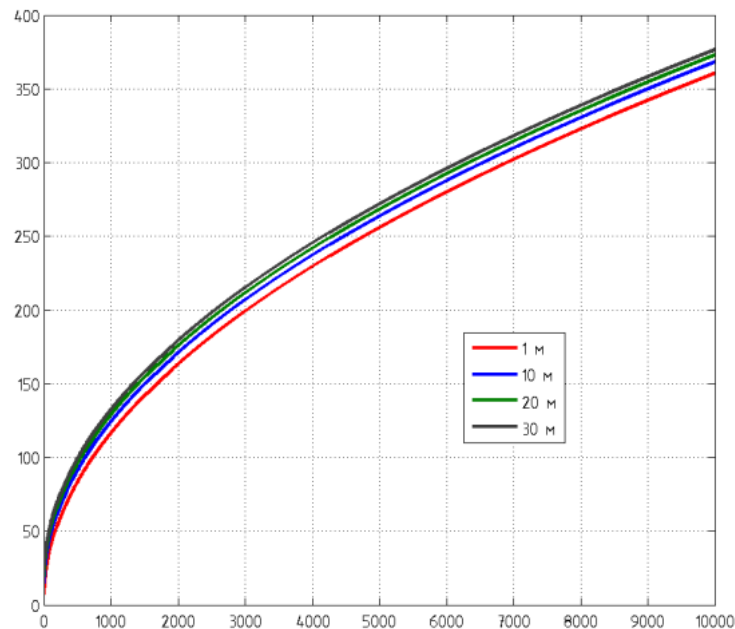
Рисунок 3.2 – Варіанти реалізації систем зв'язку комплексів БПЛА

Незважаючи на велику кількість можливих варіантів реалізації систем передачі командно-телеметричної інформації та інформації корисного навантаження, оптимальним і найбільш часто використовуваним залишається вид зв'язку, при якому дані передаються безпосередньо між БПЛА і НКУ. У цьому випадку вдається реалізувати можливість передачі

інформації з великою швидкістю, недоступною супутниковим системам зв'язку, і при цьому не залежати від стаціонарних цивільних систем зв'язку.

Одним з обмежуючих факторів є відстань радіовидимості між БПЛА і НКУ.

Без урахування рефракції в атмосфері і при відсутності перешкод на шляху поширення радіохвиль існує можливість організації прямого зв'язку між БПЛА і НКУ на дальностях до 200-300 км. Для підвищення дальності роботи системи зв'язку необхідно збільшувати висоту польоту ЛА і використовувати щоглові споруди для антени НКУ (рисунок 3.3).



загасання на трасі в цих діапазонах частот можуть бути використані параболічні антени великого діаметра (рис. 3.5). Пересувні комплекси управління БЛПА повинні бути обладнані опорно-поворотними пристроями з параболічними антенами діаметром від 1 до 3 м, в стаціонарних станціях управління БЛПА можуть бути використані антени більшого діаметру.

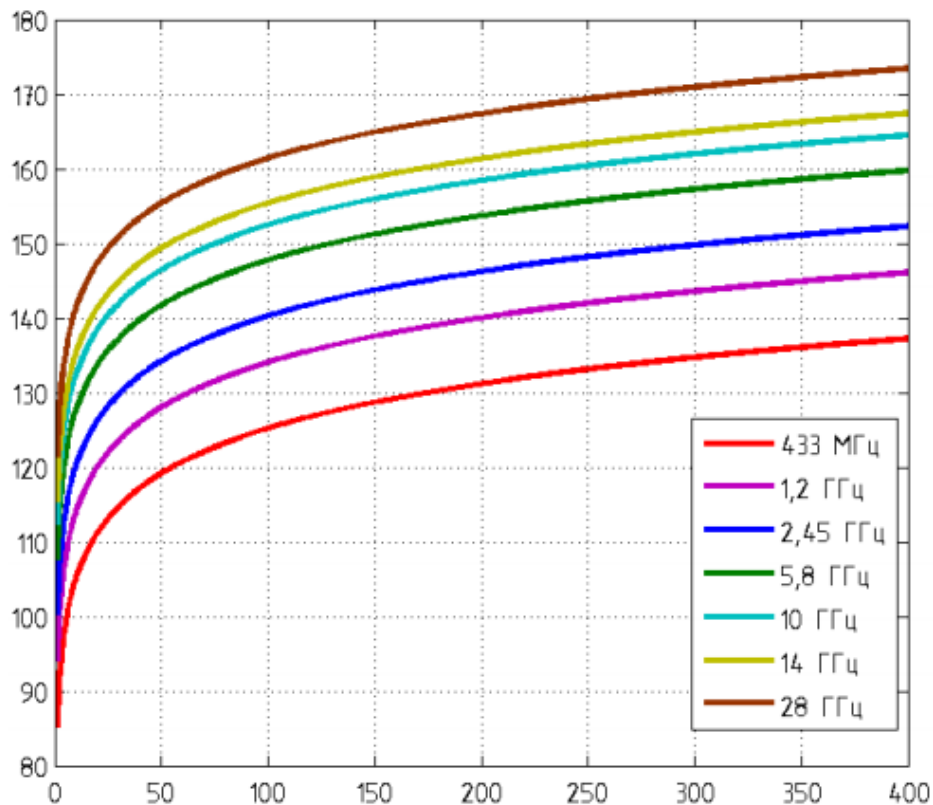


Рисунок 3.4 – Згасання сигналу на трасі для різних діапазонів довжин хвиль і при різній відстані між БЛПА і НКУ

Для забезпечення бюджету каналу зв'язку при великому загасанні сигналу на трасі необхідно використовувати спрямовані антени на борту БЛПА. Завдання управління напрямком максимального посилення бортової антени може бути вирішена декількома способами:

- використання багатоелементної антенної решітки з керованою діаграмою спрямованості;
- використання декількох перемикаючих антен;

- установка антени на опорно-поворотному пристрої.

Розглянемо ці способи окремо.

Кільцева антенна решітка може бути використана для створення антенної системи з керованим напрямом максимуму діаграми спрямованості.

Завдяки кільцевій симетрії антенної решітки вдається отримати напрямлення діаграми, які мало змінюються при скануванні в межах 360° в площині решітки. Для отримання великого коефіцієнта посилення кільцевої антенної решітки необхідно збільшувати число елементів (32, 64 і більше). Перевагою антенної решітки є можливість немеханічного сканування для подальшої передачі даних як в азимутальній площині, так і по куту місця. При цьому під час сканування передача сигналу може не перериватися. Використання багатоелементної антенної решітки ускладнюється необхідністю виготовлення складних і дорогих діаграмостворюючих пристроїв.

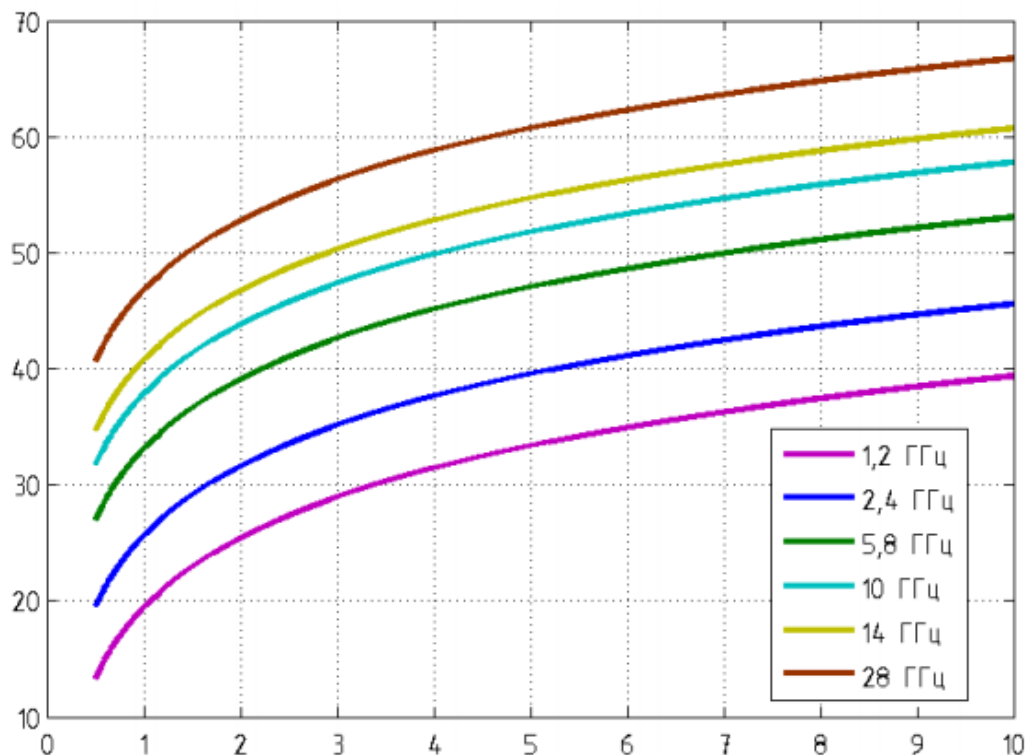


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта посилення параболічної антени від діаметра дзеркала для різних діапазонів

При використанні декількох перемикаючих гостронаправлених антен, просторові напрями по азимуту розбиваються на сектори. Мінімальна кількість антен – 4, в цьому випадку ширина діаграми спрямованості повинна складати близько 90° .

При використанні широко поширених патч-антен з шириною діаграми спрямованості близько 60° , число секторів дорівнює 6. Зі збільшенням коефіцієнтів посилення антен число зон зростає. Для розміщення великої кількості антен необхідно збільшувати габаритні розміри і масу всієї антенної системи.

Наявність перемикаючих елементів неминуче призводить до перерв у передачі інформації.

При наявності декількох антен на борту ЛА виникає необхідність вибору антени, спрямованої в бік НКУ, потрібна комутація сигналів.

Можливо кілька варіантів реалізації подібної системи:

- перемикання виходу підсилювача потужності передавача між антенами (один передавач, один підсилювач потужності, кілька антен). У найпростішому випадку вихідний сигнал підсилювача потужності комутується між декількома антенами. Перевагою цього варіанту є використання єдиного передавального модуля і підсилювача потужності для роботи на кілька антенних пристроїв. Недоліками є: втрати в комутуючих пристроях; наявність обмежень за рівнем потужності для напівпровідникових комутаторів;

- перемикання виходу передавача між підсилювачами потужності і антенами (один передавач, кілька суміщених підсилювачів потужності і антен). Для зняття обмежень, які накладає комутатор НВЧ-сигналів, підсилювач потужності передавача може бути винесено за перемикач. У цьому випадку число підсилювачів потужності дорівнює числу антен. До недоліків такого підходу можна віднести: наявність декількох підсилювачів потужності, якими потрібно управляти (вмикати/вимикати при перемиканні антен); підсилювачі НВЧ-сигналів високої потужності (понад 1 Вт) займають

багато місця і мають велику масу. Для цього варіанту необхідно розробляти єдиний багатоканальний блок підсилювачів потужності із загальною системою живлення і охолодження;

- перемикання цифрового сигналу між передавачами (число передавачів і підсилювачів потужності дорівнює числу антен). Підхід має на увазі відмову від перемикачів НВЧ-сигналів ціною використання для кожної антени свого передавача і підсилювача потужності. У цьому випадку перемикач сигналів виконується на рівні цифрової логіки (всередині ПЛІС або за допомогою мікроконтролера).

До переваг даного підходу слід віднести високу надійність системи: навіть у разі виходу з ладу одного з каналів передачі інформації, інші залишаються робочими, забезпечуючи зв'язок в своїх азимутальних секторах.

Установка антени на опорно-поворотному пристрої дозволяє використовувати одну гостронаправлену антену для безперервного спостереження за напрямом на НКУ без розривів зв'язку. При установці антени на опорно-поворотному пристрої головним завданням є створення обертового переходу, який може бути розміщений в різних місцях:

- НВЧ-перехід, що обертається, розміщується перед антеною і після підсилювача потужності;

- перехід, що обертається, розміщується після передавача і перед підсилювачем потужності і антеною;

- передавальний пристрій, підсилювач потужності і антена розміщуються на поворотному пристрої, через багатоканальний перехід, що обертається, передаються цифрові сигнали і напруга живлення.

Коаксіальний перехід НВЧ-сигналу, що обертається, є складним пристроєм і, як правило, може пропускати через себе високі потужності при низьких втратах.

До недоліків використання обертового коаксіального НВЧ-переходу потрібно віднести: високу вартість, великі терміни виготовлення.

Крім того, при установці на опорно-поворотний пристрій тільки антен

або антен і підсилювача потужності, інше обладнання необхідно розміщувати якомога ближче до обертового переходу, тобто під опорно-поворотним пристроєм. Гостронаправлена антена може бути виконана або як пласка антена (антенні решітки, апертурні антени), або як антена з розташуванням елементів вздовж випромінювання (наприклад, антени біжучої хвилі: спіральна, вібраторна).

Таким чином, при розміщенні подібного об'єкта на опорно-поворотному пристрої, більша частина поверхні поворотної платформи залишається невикористаною (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Обертовий перехід серії ME2121 (Ethernet 1000BaseT, до 24 контактів загального призначення, струм до 10 А)

Для підвищення ефективності використання площі поворотної платформи необхідно розміщувати на ній крім антени передавальне обладнання і підсилювач потужності. В цьому випадку потрібно простий багатоканальний обертовий перехід. Необхідною вимогою до такого переходу є можливість передачі таких сигналів, як Gigabit Ethernet, і можливість передачі великих струмів для живлення вихідного підсилювача

потужності.

Таким чином, оптимальним є використання опорно-поворотної платформи, на якій розміщується все обладнання для тестування системи обміну даними між БПЛА.

Ройова взаємодія – як одне з рішень проблем взаємодії малорозмірних БПЛА. Однією з серйозних проблем, що стоять на шляху використання малорозмірних БПЛА, є складності в забезпеченні радіозв'язку для передачі або обміну Big Data.

Справа в тому, що малі розміри накладають суттєві обмеження на запас бортового енергоресурсу, велика частина якого призначена для забезпечення руху, і лише невелика частина енергоресурсу може використовуватися приймально-передавальною апаратурою. Таким чином, потужність радіопередавачів сильно обмежена. Невеликі розміри БПЛА також обмежують розміри антен.

Одним з рішень цієї проблеми є використання націлених антен для супроводу апарату по лінії візування, очевидно, що такий підхід суттєво обмежує сферу застосування малорозмірних БПЛА.

Використання груп БПЛА робить питання забезпечення зв'язку ще більш актуальним. При централізованих стратегіях управління кожному БПЛА потрібен канал зв'язку з пропускною здатністю в кілька Мбіт/с для передачі зображень та іншої інформації про навколишнє середовище.

Частковим вирішенням проблеми може стати застосування централізованих ієрархічних стратегій управління, при яких зв'язок з центральним пристроєм управління є лише у деяких БПЛА, кожен з яких передає команди апаратів своєї підгрупи, причому дистанції між апаратами підгрупи відносно невеликі, а, отже, і енерговитрати на таку передачу не настільки істотні.

Проте, необхідність постійного зв'язку БПЛА верхнього рівня ієрархії з центральним пристроєм управління, залишається проблемою.

В якості вирішення проблеми інформаційного обміну в групах БПЛА

пропонується використовувати методи ройового інтелекту.

Ройовий інтелект – це дисципліна, яка вивчає природні та штучні системи, що складаються з великої кількості окремих об'єктів (особ, агентів і т.п.), які здійснюють децентралізоване управління на основі принципів самоорганізації. Зокрема, ця дисципліна зосереджена на колективній поведінці в результаті локальних взаємодій окремих об'єктів між собою і з навколишнім середовищем. Ройовий інтелект описує колективну поведінку природного або штучного походження.

У групі БПЛА, яка взаємодіє на основі ройового інтелекту, кожен апарат здійснює взаємодію лише з деякими, найближчими до нього в даний момент, апаратами.

При цьому дальність зв'язку і енерговитрати на інформаційну передачу відносно невеликі. БПЛА приймають рішення про поточну поведінку, спираючись на самостійно зібрані дані про навколишнє середовище, а також на ті дані, які передають сусідні апарати.

Енерго витратний зв'язок з центральним пристроєм управління здійснюється лише зрідка, і, можливо, не всіма апаратами групи, лише для того, щоб отримати інформацію про завдання, що стоять перед групою, і для того щоб передати звітну інформацію про стан групи під час виконання поставленої раніше задачі.

Методи ройової взаємодії знаходять застосування в задачах управління комп'ютерними мережами, побудованими на базі великих груп наземних мобільних БПЛА (наприклад, проекти Swarm-bots і Swarmonoid), що може служити підтвердженням того, що застосування цих методів для груп мультикоптерних мереж може виявитися настільки ж ефективним. Адже БПЛА можна розглядати як «повітряні БПЛА з шістьма ступенями свободи».

Це дозволяє припустити що, методи, апробовані на групах БПЛА, після невеликої адаптації зможуть знайти застосування в задачах управління БПЛА.

Використання ройових методів взаємодії в групах БПЛА допомагає

вирішити ще одну проблему малорозмірних БПЛА – збір даних про навколишнє середовище. Справа в тому, що малі габарити апарату істотно обмежують доступний набір бортових сенсорних пристроїв. Обмежений енергоресурс також несприятливо позначається на допустимі енерговитрати засобів збору даних про навколишнє середовище, що призводить до зменшення радіусу роботи активних засобів збору даних, таких як лазерні далекоміри, ультразвукові датчики і т.п.

Ці обмеження призводять до того, що малорозмірний БПЛА здатний самостійно зібрати інформацію лише на відносно невеликій області простору навколо себе. Проте, для забезпечення сталого польоту апарату необхідні дані нерухомих і рухомих перешкод, розташованих в значно більшій зоні, особливо за курсом руху. При ройовій взаємодії в групі БПЛА сусідні апарати обмінюються інформацією про навколишнє середовище, розширюючи доступні одна одній відомості про перешкоди, повітряні потоки, і інші важливі параметри середовища.

На особливу увагу заслуговує питання забезпечення стійкого польоту малорозмірних БПЛА, які більшою мірою схильні до нестійких потоків природної турбулентності атмосфери, особливо в умовах щільної міської забудови.

Виконання групою БПЛА спільної задачі вимагає дотримання визначених дистанцій між літальними апаратами і впорядкування їх побудови. Наприклад, при виконанні завдань обміну Big Data із сенсорів, БПЛА повинні літати на таких дистанціях, щоб мінімізувати перекриття робочих зон сенсорних пристроїв, і в той же час, не допускати «прогалин на карті». При ройовій взаємодії, кожен апарат визначає дистанції до сусідніх до нього апаратів і коригує свій курс таким чином, щоб дотримуватися необхідної дистанції між апаратами, і в той же час не зближуватися надмірно з перешкодами.

Пропонується метод управління групою БПЛА на основі ройового інтелекту для управління групою малорозмірних БПЛА використовувати

ройовий підхід, придатний для всіх БПЛА. Доволі багаточисленна множина R БПЛА r_i ($i = 1, 2, \dots, N$), спільна взаємодія яких забезпечує вирішення деякої обмеженої кількості задач $P = \langle p_1, p_2, \dots, p_i \rangle$ нехай називається роєм. При цьому передбачається:

- всі БПЛА однакові;
- стан кожного БПЛА описується деяким вектором;
- БПЛА може виконувати певний обмежений набір найпростіших локальних дій;
- БПЛА може здійснювати інформаційний обмін з деякою підмножиною БПЛА, що знаходиться в межах певної зони, обмеженої радіусом L , яку в подальшому назвемо «зоною видимості» БПЛА. За допомогою цього інформаційного обміну БПЛА може бути доступна інформація про поточний стан і дії БПЛА підмножини R_i ;
- БПЛА «знає» закони зміни свого стану в залежності від своїх дій, а також дій і станів інших БПЛА;
- під завданням, що стоїть перед роєм, розуміється досягнення роєм такого стану, коли є рішення задачі, при якому досягається мінімум деякого функціонала.

З урахуванням введених визначень завдання управління роєм БПЛА можна сформулювати наступним чином: знайти таку послідовність локальних дій всіх БПЛА рою, яка перетворює поточний стан рою в такий цільовий стан, відповідний поставленій перед роєм задачі, де досягається мінімум функціонала при визначених зв'язках.

Пропонується використовувати наступний узагальнений алгоритм ройової взаємодії:

- всі БПЛА, що входять до складу рою, отримують з деякого пункту управління тип (номер) k завдання, що стоїть перед роєм;
- кожен БПЛА R_i , що входить до складу рою, визначає (або отримує по каналам зв'язку) інформацію про поточний стан і локальні дії БПЛА рою,

що потрапляють в зону видимості;

- на підставі отриманих даних БПЛА визначає стан, в якому функція приймає мінімальне значення;
- БПЛА визначає дію, спрямовану на перетворення його поточного стану;
- БПЛА реалізує локальну дію, після чого переходить до пункту № 2.

Розглянемо більш докладно завдання розподілу рою БПЛА на рівні дистанції один між одним. Таке завдання може ставитися при необхідності компактного розташування рою БПЛА без взаємних перешкод, або при виконанні завдань збору даних на великій території без «проломів» і з мінімальним перекриттям, обробки поверхонь, тощо.

Нехай m - мінімальна допустима відстань між БПЛА, d - поточна дистанція між БПЛА R_i і R_j , L - радіус видимості кожного БПЛА R_i . Тоді при виконанні умови $m < d < L$, вектор результуючої сили $\overline{F_{ij}(k)}$, який визначає необхідну дію a_i , буде спрямований на БПЛА R_j і прямо пропорційний дистанції між ними d (3.1):

$$\begin{cases} |\overline{F_{ij}(k)}| \sim d, m < d < L \\ |\overline{F_{ij}(k)}| \sim d^{-1}, d < d < L \end{cases} \quad (3.1)$$

На рисунку 3.7 наочно показані вектори сили $\overline{F_{ij}(k)}$ в залежності від поточної дистанції між БПЛА.

Під задачею баражування рою БПЛА R будемо розуміти таке просторове переміщення групи, при якому рій переміщається в певному напрямку і дистанції між БПЛА дотримуються. Таке завдання може ставитися при необхідності переміщення рою до місця виконання робіт, при зборі інформації про навколишнє середовище, при виконанні завдань гарантованої доставки та стабільної швидкості передачі Big Data і в ряді

інших завдань.

У тому випадку, коли кожен БПЛА володіє інформацією про напрямок необхідного переміщення, завдання легко вирішується. Але, з огляду на специфіку ройового застосування великих груп БПЛА, оснащених малогабаритними приймальними пристроями, що діють в умовах недетермінованого середовища, а можливо, і в умовах організованої протидії інших сигналів, особливого значення набуває завдання баражування рою БПЛА за умови, що не всі БПЛА поінформовані про необхідний напрямок руху.

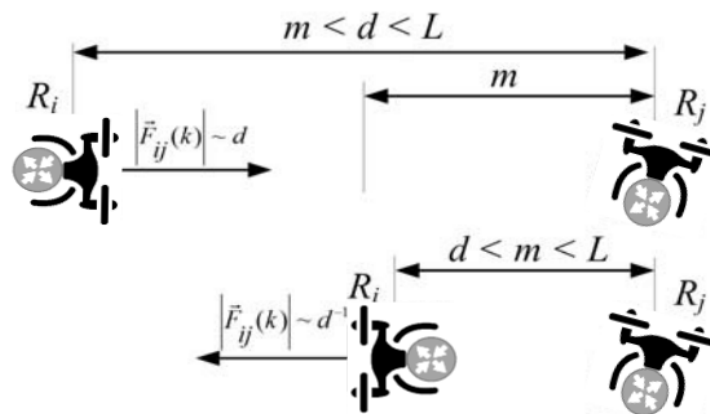


Рисунок 3.7 – Визначення сили взаємодії БПЛА R_i з БПЛА R_j

БПЛА групи, які володіють інформацією про необхідний напрямок руху, будемо називати «провідними» БПЛА. А інші – веденими. У провідних БПЛА формула розрахунку результуючої сили взаємодії (3.1) поповниться ще одним доданком – вектором необхідного руху, позначимо його \bar{F}_m . Тоді формула розрахунку результуючої сили $\bar{F}_i(k)$ матиме вигляд (3.2):

$$\bar{F}_i(k) = \sum_{j=1}^n \bar{F}_{ij}(k) + \bar{F}_{iB}(k) + \bar{F}_{iM}, \quad (3.2)$$

При цьому ведені БПЛА рухаються за колишніми правилами, за

рахунок «тяжіння» і «відштовхування» щодо провідних БПЛА і один від одного, весь рій буде здійснювати спрямований рух в заданому напрямку.

Очевидно, що завдання баражування рою БПЛА має практичне значення тільки в разі якщо БПЛА здатні обходити перешкоди. Будемо розглядати випадок, коли БПЛА не мають апріорної інформації про розташування непереборних перешкод на шляху руху, а також БПЛА, які виявили перешкоду не здатні передавати інформацію про неї іншим БПЛА рою.

Тоді формула розрахунку результуючої сили взаємодії (3.1) поповниться ще одним доданком – вектором, що лежить на нормалі до перешкоди, але спрямованого в протилежну від перешкоди сторону, позначимо його - \bar{F}_{iH}

Тоді формула розрахунку результуючої сили $\bar{F}_i(k)$ матиме вигляд:

$$\bar{F}_i(k) = \sum_{j=1}^n \bar{F}_{ij}(k) + \bar{F}_{iB}(k) + \bar{F}_{iH}, \quad (3.3)$$

У ряді практичних завдань, що виконуються групою БПЛА, необхідно забезпечити баражування рою БПЛА, або його частини (кластера, підгрупи) до певної мети. Прикладом такої мети може служити місце дозаправки енергоносієм, зона впевненого прийому сигналу, місце передачі Big Data.

Залежно від характеру інформаційного обміну в рої БПЛА, можливі два сценарії:

- БПЛА, який знайшов мету, повідомляє сусіднім БПЛА координати цілі, ті передають «по ланцюжку» цю інформацію своїм сусідам, і незабаром всі БПЛА рою мають інформацію про місцезнаходження цілі і можуть рухатися в цьому напрямку;

- БПЛА, який знайшов мету, не може повідомити її координати іншим БПЛА рою.

Так як в першому випадку дії рою БПЛА цілком очевидні, розглянемо

другий сценарій. БПЛА, який знайшов мету, може спрямувати до неї, але не може повідомити іншим БПЛА про причини зміни напрямку свого руху. У цьому випадку він стає «провідним».

Решта «ведені» БПЛА, що є сусідами з «провідним», будуть «притягатися» до нього і змушені будуть слідувати за ним. БПЛА, в зону видимості яких ведучий БПЛА спочатку не потрапляв, будуть притягатися до тих БПЛА, які слідують за ведучим, і також зміщуватися у напрямку прямування ведучого БПЛА.

В результаті рій БПЛА буде слідувати за провідним БПЛА. При наявності декількох провідних БПЛА, що рухаються до різних цілей, рій буде змушений розділитися на частини (кластери, підгрупи), кожна з яких піде за одним з провідних БПЛА.

При проведенні етапу дослідної експлуатації розроблених підходів вирішувалися завдання дотримання дистанцій, баражування в заданому напрямку в безвітряну погоду і при вітрі, слідування за «провідним» з числа учасників рою, пошук і виявлення цілей, проходження цілей, процеси передачі Big Data. При виявленні декількох цілей рій розділяється на підгрупи, кожна з яких слідує до однієї з цілей.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В даний час існує безліч завдань, що виникають при управлінні групою, що складається з n - Drone, які мають різне функціональне призначення. Одним із завдань, які можуть вирішуватися при управлінні n - Drone, є завдання оптимального покриття n - Drone деякої поверхні, на якій вони функціонують (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Рій n - Drone

Розрахунок оптимального покриття двома поверхнями, на якій вони функціонують (рисунок 4.2). Припустимо, в середовищі функціонує група \mathfrak{R} з Drone $_{i,j}$, яка може обробити деяку територію площею S . Окремий Drone $_{i,j}$ може обробити площу:

$$S_i = \pi R^2,$$

де R – радіус області, яку обробляють.



Рисунок 4.2 – Поверхня, на якій функціонують два Drone

Для того, щоб площа покриття, яку обробляє група \mathcal{R} була максимальною, необхідно, щоб величина Y_c – цільовий функціонал, була мінімальною:

$$Y_c = \sum_i^N \sum_{i+1}^N F(T_i, T_j), \quad (4.1)$$

де функція $F(T_i, T_j)$ визначає, наскільки перетинаються зони покриття $Drone_i$ і $Drone_j$ з групи \mathcal{R} , коли $Drone_i$ потрапляє в точку $T_i \in S$, а $Drone_j$ $T_j \in S$. У свою чергу, величина Y_c з формули (4.1) визначає загальну площу перетину зон покриття всіх елементів з групи \mathcal{R} , $Drone_{i,j}$.

Тому, чим менше буде перетинів між зонами покриття окремих елементів з групи, \mathcal{R} тим, відповідно, буде більше загальна площа покриття.

При цьому, звичайно, повинна виконуватися умова відсутності пропусків поверхні, яка покривається (рисунок 4.3).

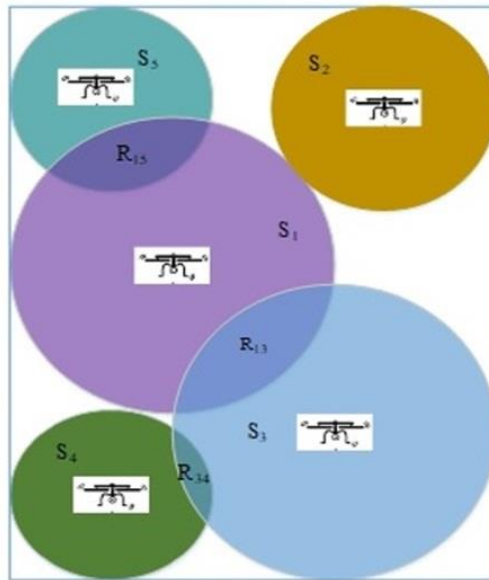


Рисунок 4.3 – Приклади зон перетину двох Drone

Розглянемо функцію $F(T_i, T_j)$. Можливі три випадки перетину областей, що покриваються групою \mathcal{R} Drone_i і Drone_j. Можливі три випадки перетину областей, що покриваються групою \mathcal{R} (рисунок 1.3).

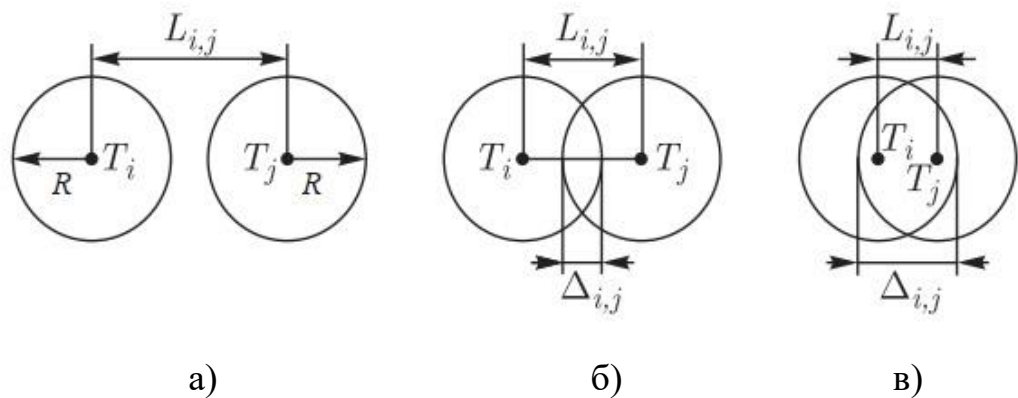


Рисунок 4.4 - Можливі перетини зон покриття двох мобільних об'єктів

Випадок а (рисунок 4.4) виникає, коли:

$$L_{i,j} \geq 2R.$$

де $L_{i,j}$ - відстань між цільовими точками T_i та T_j .

В цьому випадку області, що покриваються $Drone_i$ та $Drone_j$ взагалі не перетинаються, тому:

$$F(T_i, T_j) = 0.$$

Випадок **б** (рисунок 4.4) виникає, коли:

$$R \leq L_{i,j} < 2R.$$

При цьому значення функції $F(T_i, T_j)$ буде визначатися величиною $\Delta_{i,j}$, яка в даному випадку буде дорівнювати:

$$\Delta_{i,j} = L_{i,j} - 2(L_{i,j} - R) = L_{i,j} - 2L_{i,j} + 2R = 2R - L_{i,j}.$$

Або можна записати при $R < L_{i,j}$ перетин областей:

$$F(T_i, T_j) = \varphi(2R - L_{i,j}),$$

де функція $\varphi(2R - L_{i,j}) = \varphi(\Delta_{i,j})$, визначається виразом:

$$\Delta_{i,j} = 2R^2 \arctg\left(\frac{\sqrt{2R\Delta_{i,j} - \Delta_{i,j}^2}}{2R - \Delta_{i,j}}\right) - \frac{1}{2}(2R - \Delta_{i,j})\sqrt{2R\Delta_{i,j} - \Delta_{i,j}^2},$$

Випадок **в** (рисунок 4.4) виникає, коли:

$$L_{i,j} < R$$

При цьому значення функції $F(T_i, T_j)$ буде визначатися величиною $\Delta_{i,j}$, яка в даному випадку буде дорівнювати:

$$\Delta_{i,j} = 2(R - L_{i,j}) + L_{i,j} = 2R - 2L_{i,j} + L_{i,j} = 2R - L_{i,j}.$$

Таким чином отримуємо, що функція $F(T_i, T_j)$ визначається виразом:

$$F(T_i, T_j) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } L_{ij} \geq 2R \\ \varphi(\Delta_{ij}), & \text{якщо } L_{ij} < 2R \end{cases}$$

де $\Delta_{i,j} = 2R - L_{ij}$.

4.1 Алгоритм аналітичних розрахунків

Крок № 1. Визначаємо відстань між цільовими точками А і В за формулою:

$$L_{A,B} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

$$L_{A,B} = \sqrt{(0+2)^2 + (7-4)^2} = \sqrt{4+9} = \sqrt{13} = 3,6$$

Крок № 2. Перевіряємо умову для випадку а (рисунок 4.4):

$$L_{A,B} \geq 2R; \\ 3,6 \geq 4. \quad \text{- умова не виконується.}$$

Перевіряємо умову для випадку б (рисунок 4.4):

$$R \leq L_{A,B} < 2R; \\ 2 \leq 3,6 < 4. \quad \text{- умова виконується.}$$

Перевіряємо умову для для випадку в (рисунок 4.4):

$$\begin{aligned} L_{A,B} < R; \\ 3,6 < 2. \end{aligned} \quad - \text{ умова виконується.}$$

Після проведеного аналізу вибираємо варіант б (рисунок 4.4).

Крок № 3. Для кожного випадку з рисунку 4.4 функція визначається по різному:

- для випадку а – ця функція дорівнює 0;
- для випадку б – ця функція дорівнює $\Delta_{A,B}$;
- для випадку в – ця функція також дорівнює $\Delta_{A,B}$.

Крок № 4. Для випадку б (рисунок 4.4) $\Delta_{A,B}$ обчислюється як:

$$\Delta_{A,B} = L_{A,B} - 2(L_{A,B} - R) = L_{A,B} - 2L_{A,B} + 2R = 2R - L_{A,B},$$

$$\Delta_{A,B} = 4 - 3,6 = 0,4 \text{ м}$$

Для випадку в (рисунок 4.4) $\Delta_{A,B}$ обчислюється як:

$$\Delta_{A,B} = 2(R - L_{A,B}) + L_{A,B} = 2R - 2L_{A,B} + L_{A,B} = 2R - L_{A,B}.$$

Крок № 5. При $R \leq L_{A,B}$ перетин областей визначається за формулою:

$$F(T_A, T_B) = \varphi(2R - L_{A,B}) = \varphi(\Delta_{A,B})$$

$$\varphi(\Delta_{A,B}) = 2R^2 \arctag\left(\frac{\sqrt{2R\Delta_{A,B} - \Delta_{A,B}^2}}{2R - \Delta_{A,B}}\right) - \frac{1}{2}(2R - \Delta_{A,B})\sqrt{2R\Delta_{A,B} - \Delta_{A,B}^2}.$$

$$1. \sqrt{2 \cdot 2 \cdot 0,4 - 0,4^2} = \sqrt{4 \cdot 0,4 - 0,4^2} = \sqrt{1,6 - 0,4^2} = 1,2;$$

$$2. \frac{1}{2}(2 \cdot 2 - 0,4) = \frac{1}{2}(4 - 0,4) \frac{1}{2} \cdot 3,6 = 1,8;$$

$$3. \frac{\sqrt{2 \cdot 2 \cdot 0,4 - 0,4}}{2 \cdot 2 - 0,4} = \frac{\sqrt{1,6 - 0,16}}{3,6} = \frac{\sqrt{1,44}}{3,6} = \frac{1,2}{3,6} = 0,3;$$

$$4. \operatorname{arctg} 0,3 = 0,322;$$

$$5. 8 \cdot 0,322 - (1,8 \cdot 1,2) = 2,576 - 2,16 = 0,4.$$

Крок № 6. Таким чином $F(T_A, T_B)$ визначається за формулою:

$$F(T_A, T_B) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } L_{A,B} \geq 2R \neq 3,6 \geq 4 \\ \varphi(\Delta_{A,B}) \text{ якщо } L_{A,B} < 2R = 3,6 < 4 \end{cases}$$

$F(T_A, T_B) = \varphi(\Delta_{A,B}) = 0,4 \text{ м}$. Результати розрахунків представлені на рисунку 4.5.

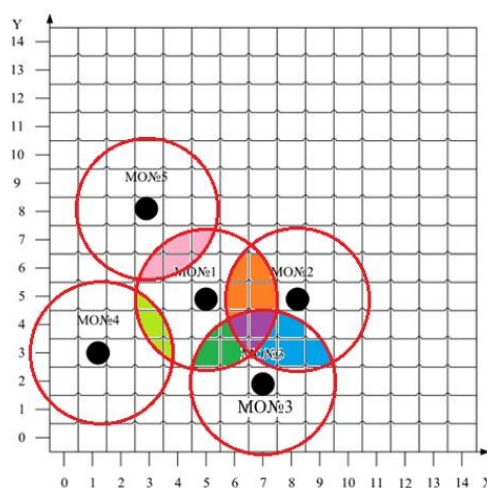


Рисунок 4.5 – Результати розрахунків

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської атестаційної роботи були розглянуті характерні особливості бездротових мереж різних типів, а також були вивчені характеристики протоколів динамічної маршрутизації при моделюванні руху мобільних систем.

Були розглянуті варіанти реалізації програмно-апаратного прототипу, з інтерфейсом Wi-Fi, який встановлений на кожному інтелектуальному мобільному об'єкті.

Була створена система мобільних інтелектуальних об'єктів, на базі якої був реалізований прототип самоорганізуючої мережі. Навіть якщо частина пристроїв виявляється недоступною, мережа все одно підтримується.

Розроблений прототип дозволив реалізувати роботу динамічного протоколу маршрутизації V.A.T.M.A.N. Прототип готовий до масштабування системи для більш серйозного застосування, наприклад, у віддалених населених пунктах, в місцях незвіданої дикої природи, в транспортних системах і на підприємствах, де мобільні пристрої можуть сприяти процесу передачі важливої інформації від джерела до адресата.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Токарев В.В. Разработка алгоритма мультиагентного управления группой мобильных «s-bot» / В. Н. Ткачев, В. В. Токарев, Г. И. Чурюмов // Реєстрація, зберігання і обробка даних. - 2019, Т. 21, № 1 – С.46-56.
2. Токарев В.В. Надширокосмугові технології в системах управління мобільними об'єктами / О. А. Серков, П. Є. Пустовойтов, І. В. Яковенко, Б. О. Лазуренко, Г. І. Чурюмов, В. В. Токарев, Ванг Наннан // Сучасні інформаційні системи. - 2019, Т.3, №2 – С.22-27.
3. Volodymyr Tokariiev. Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles / Aleksandr Serkov, Valeri Kravets, Igor Yakovenko, Gennady Churyumov, Wang Nannan // The 10th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2019 5-7 June, 2019, Leeds, United Kingdom. - Pp.26 - 29.
4. Tokariiev Volodymyr. Problem of self-organization of s-bot group movement in unorganized physical environment / Churyumov Gennadiy, Tokariiev Volodymyr, Tkachov Vitalii // Комп'ютерні та інформаційні системи і технології: тези доповідей третьої міжн. наук. - техн. конф. 23 - 24 квітня 2019 р. - Харків, Україна. - С.16-17.
5. Volodymyr Tokariiev. Method for Ensuring Survivability of Flying Ad-hoc Network Based on Structural and Functional Reconfiguration / Genadiy Churyumov, Vitalii Tkachov, Volodymyr Tokariiev, Vladyslav Diachenko // Selected Papers of the XVIII International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2018) / Kyiv, Ukraine, November 27, 2018. – Pp. 64-76.
6. Volodymyr Tokariiev. Method of Data Collection in Wireless Sensor Networks Using Flying Ad Hoc Network / Vitalii Tkachov, Volodymyr Tokariiev, Yana Dukh, Vadym Volotka // 2018 5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology, October 9-

12, 2018 Kharkiv, Ukraine. – Pp.197 - 201.

7. Tokariiev, V. Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field / G. Churyumov, V. Tokarev, V. Tkachov, S. Partyka // 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). – 21-25 Aug. 2018. – Pp. 183-186.

8. Токарев В.В. Темпоральная модель адаптации интегрированной информационной системы путем реконфигурации логической структуры / О.Г. Лебедев, В.Н. Ткачев, В.В. Токарев, Г.И. Чурюмов // Комп'ютерні та інформаційні системи і технології: тези доповідей другої міжн. наук. - техн. конф. 18 - 19 квітня 2018 р. - Харків, Україна. - С.6-7.

9. Tokarev V.V. Shortest path bridging method for the group of mobile technical objects/ V.M. Tkachov, V.V. Tokarev, G.I. Churyumov//Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: матеріали VIII - межд. наук. - техн. конф., 26 - 27 квітня 2018 р. - Харків, 2018р. - С.18.

10. Volodymyr V. Tokarev. Provision of Survivability of Reconfigurable Mobile System on Exposure to High-Power Electromagnetic Radiation / Igor V. Ruban, Genadiy I. Churyumov, Volodymyr V. Tokarev, Vitaliy M. Tkachov // Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security (ITS 2017). – CEUR Workshop Processing. – Kyiv, Ukraine, November 30, 2017. – Pp. 105-111.

11. Створення науково-методичних основ забезпечення живучості мережевих систем обміну інформацією в умовах зовнішнього впливу потужного нвч випромінювання // Г.И. Чурюмов, В.В. Токарев, И.В. Рубан, В.Н. Ткачев и др. // Звіт про науково-дослідну роботу за договором від 20.09.2017 р. № Ф76/109-2017 (заключний). № держреєстрації 0117U003916. ХИРЭ. - 116с.

12. Спосіб передачі цифрових даних мультикоптерною системою між сегментами розподіленої сенсорної мережі та базовою станцією [Текст] : пат.

118921 Україна: МПК 2017.01, H04W 64/00, H04W 84/18 (2009.01), G06F 17/40 (2006.01) / Ткачов В.М., Токарев В.В., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – u2017 04085; заяв. 24.04.2017; опубл. 28.08.2017, бюл. № 16. – 2017. – 5 с.

13. Токарев В.В. Мобильная подсистема «Мультикоптер-сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения BIG DATA / В.О. Радченко, Д.А. Руденко, В.Н. Ткачов, В.В. Токарев // Системи управління, навігації та зв'язку - 2017. - №4(44). – С.102-105.

14. Токарев В.В. Проблема передачі даних типу BIG DATA у мобільній системі «мультикоптер - сенсорна мережа» / В.М. Ткачов, В.В. Токарев, В.О. Радченко, В.О. Лебедєв // Системи управління, навігації та зв'язку - 2017. - №2(42). – С.154-157.

15. Токарев В.В., Федорченко А.О. Бездротова сенсорна мережа на основі інтелектуальних мобільних об'єктів. Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: тези доповідей 53 міжн. наук. інтер. конф., м. Тернопіль, 16 листопада 2020р. Тернопіль, С. 101-102.