

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

Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Телекомунікацій

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

«__» _____ 2021 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Протокол запобігання колізій в мережі IoT з
використанням безпілотних літальних апаратів»

Виконав: студент _____4_____ курсу, групи _____ТМ-71_____

(шифр групи)

_____Нагорна Маргарита Миколаївна_____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник д.т.н., професор, завідувач кафедрою. Кравчук С.О_____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент, к.т.н, Правило В.В_____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2021 року

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Нагорній Маргариті Миколаївні

1. Тема роботи : Протокол запобігання колізій в мережі IoT з використанням безпілотних літальних апаратів

керівник роботи Кравчук Сергій Олександрович, д.т.н., професор, завідувач кафедру телекомунікацій

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 14 квітня 2021 р. № 1007-с

2. Термін подання студентом роботи 7 червня 2021р.

3. Вихідні дані до роботи: використання RFID у технологіях Інтернету Речей, застосування БПЛА в телекомунікаційних застосуваннях, колізія міток у щільних середовищах RFID в мережі Інтернету Речей.

4. Зміст роботи

- 1) Проведення огляду та аналіз попередніх протоколів протидії колізії міток.
- 2) Проведення огляду використання БПЛА в телекомунікаційних застосуваннях, їх характеристик, областей застосування та переваг.
- 3) Розробка багатотегового протоколу протидії колізій на основі БПЛА.
- 4) Проведення моделювання, та оцінка ефективності розробленого протоколу.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

Слайд №1-2 Актуальність та мета, практична цінність роботи. Опис базової моделі системи RFID.

Слайд №3 Опис тривимірної моделі системи RFID на основі БПЛА.

Слайд №4 Формулювання інтерпретації протоколу протидії колізій множини міток на основі БПЛА.

Слайд №5-8 Результати розрахунку параметрів E_s, S_s, C_s та ефективності даної системи.

Слайд №9-12 Результати ефективності системи та часу ідентифікації антиколізійного протоколу.

Слайд № 13 Висновки до роботи.

6. Дата видачі завдання 9.11.2020р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та аналіз інформації відносно БПЛА та попередніх алгоритмів запобігання колізії	12.11.2020- 15.12.2020	
2	Розробка протоколу запобігання колізій в мережі IoT з використанням безпілотних літальних апаратів	10.01.2021- 28.02.2021	
3	Розробка математичної моделі безпроводової мережі для дослідження запропонованого протокол	7.03.2021- 24.04.2021	
4	Аналіз ефективності запропонованого протоколу	25.04.2021- 14.05.2021	

	порівняно з іншими протоколами		

Студент

Маргарита НАГОРНА

Керівник

Сергій КРАВЧУК

Реферат

Робота містить 72 сторінки, 28 рисунків, 1 таблицю. Було використано 64 джерела.

Мета роботи: вирішення проблеми колізій міток для щільних середовищ Інтернету Речей, за рахунок запропонованого протоколу запобігання колізій в мережі IoT з використанням безпілотних літальних апаратів.

В ході виконання даної роботи розроблено тривимірну модель системи радіочастотної ідентифікації на основі БПЛА, розроблено новий алгоритм боротьби із колізіями для Інтернету Речей, на основі якого запропоновано протокол протидії колізії множини тегів на базі БПЛА (протокол протидії колізії для множини міток). Проведено моделювання та виконано оцінку запропонованого протоколу.

Ключові слова: Інтернет речей (IoT), радіочастотна ідентифікація (RFID), БПЛА, безпілотні літальні апарати, протокол протидії колізії для множини міток.

Abstract

The work contains 72 pages, 28 figures, 1 table. 64 sources were used.

Goal: solving the problem of label collisions for dense environments of the Internet of Things, due to the proposed protocol to prevent collisions in the Internet of Things using unmanned aerial vehicles.

In the course of this work, a three-dimensional model of the UAV-based radio frequency identification system was developed, and a new anti-collision algorithm for the Internet of Things was developed, based on the anti-collision protocol for multiple tags. The simulation and evaluation of the proposed protocol was performed.

Keywords: Internet of Things (IoT), Radio Frequency Identification (RFID), UAV, unmanned aerial vehicle, anti-collision protocol for multiple tags.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ПРОТОКОЛІВ ПРОТИДІЇ КОЛІЗІЙ МІТОК..	15
1.1 Pure Aloha	15
1.1.1 Принцип роботи.....	15
1.1.2 Пропускна здатність Pure ALOHA	16
1.1.3 Максимальна пропускна здатність Pure ALOHA.....	17
1.2 Протокол "Aloha" зі слотами кадрів (FSA).....	17
1.3. Протокол Aloha зі динамічними слотами (DFSA)	19
1.4 Висновок до розділу	26
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ БПЛА В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ЗАСТОСУВАННЯХ.....	28
2.1 Області застосування БПЛА.....	36
2.2 Переваги використання БПЛА.....	46
2.3 Висновки до розділу.....	47
РОЗДІЛ 3. ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ НА БЛА.....	49
3.1 Модель системи на основі БПЛА	49
3.2. Кілька колізій міток.....	50
3.3 Висновок до розділу.....	52
РОЗДІЛ 4. БАГАТОТЕГОВИЙ ПРОТОКОЛ БОРОТЬБИ З КОЛІЗІЯМИ НА ОСНОВІ БПЛА.....	53
4.1. Оптимальна ефективність системи.....	53
4.2. Багаточастотна комунікація міток.....	57

4.3 Висновок до розділу	61
РОЗДІЛ 5. ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ.....	62
5.1. Сценарій моделювання	62
5.2. Результати моделювання та аналізу	62
5.2.1. Вплив різних частот міток на роботу протоколу	63
5.2.2 Вплив різної довжини кадру зчитувача на роботу протоколу.....	64
5.2.3 Вплив різної кількості тегів на роботу протоколу	65
5.3 Висновок до розділу	67
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

IoT	Internet of Things – Інтернет Речей
RFID	Radio Frequency Identification – радіочастотна ідентифікація
БПЛА	Безпілотний літальний апарат
ПКМ	Протокол протидії колізії для множини міток
SDMA	Space-division multiple access – множинний доступ з космічним розподілом
FDMA	Frequency Division Multiple Access – множинний доступ з поділом каналів за частотою
CDMA	Code Division Multiple Access – множинний доступ з кодовим розділенням каналів
TDMA	Time Division Multiple Access – множинний доступ з розділенням за часом
QT	Query Tree Protocol – протокол дерева запитів
BT	Binary Tree Protocol – протокол двійкового дерева
CT	Collision Tree Protocol – протокол дерева колізій
PA	Pure Aloha
SA	Slot Aloha
FSA	Frame Slotted ALOHA – протокол Aloha зі слотами кадрів

ВСТУП

В останні роки бурхливий розвиток Інтернету речей (IoT) дозволяє широко використовувати радіочастотну ідентифікацію (RFID) для ідентифікації, розміщення, відстеження та моніторингу доменів речей [1]. RFID - це автоматизована технологія ідентифікації, яка складається з міток та пристроїв зчитування, що передають дані на комп'ютер зі спеціальним програмним забезпеченням для їх подальшої обробки та збереження. RFID автоматично, у безпроводовому режимі, дозволяє передавати інформацію про об'єкт на комп'ютер у режимі реального часу. У порівнянні з іншими автоматизованими технологіями ідентифікації, RFID має перевагу ідентифікації на великі відстані, малий обсяг, сильний захист від забруднень, велику ємність даних та високу надійність, також у складних умовах навколишнього середовища. Однак у щільному середовищі RFID, оскільки всі теги мають один і той же бездротовий канал, зіткнення тегів відбуватиметься, коли кілька тегів реагують на один і той же зчитувач [2].

Оскільки зчитувач має обмежений діапазон зв'язку, йому потрібні кілька зчитувачів, щоб розпізнати всі теги. Але використання кількох зчитувачів спричинить колізію між зчитувачами [3]. Сьогодні система RFID широко використовується, тому проблема зіткнення тегів неминуча. Так зване зіткнення тегів, тобто в межах зчитувача ідентифікація, коли два або більше тегів одночасно реагують на зчитувач і надсилають дані, конфлікт між інформацією даних, що генерується в каналі зв'язку, якщо конфлікт виникає, пристрій не може відразу ідентифікувати деякі конфліктуючі теги, тоді процес розпізнавання не вдається, і процес розпізнавання вводиться повторно. Вищезазначені кроки повторюються доти, доки всі теги в межах запиту читача не будуть ідентифіковані успішно.

Отже, оскільки пасивні мітки не здатні сприймати або ідентифікувати такі зіткнення, розробка алгоритмів проти колізій у безпроводому зв'язку має велике значення для підтримки та швидкої ідентифікації тегів RFID.

Колізії в безпроводому зв'язку є давньою проблемою, і також було розроблено багато відповідних рішень. Ці методи, як правило, поділяються на чотири категорії: множинний доступ до космічного дивізіону, SDMA; множинний доступ з частотним розділенням, FDMA; множинний доступ з кодовим розділенням, CDMA; множинний доступ із часовим поділом, TDMA [4]. Внаслідок характеристик тегу алгоритмом тегування зіткнення в основному є TDMA. TDMA також поділяється на детерміновані алгоритми на основі двійкового дерева такі як Query Tree Protocol (QT), Binary Tree Protocol (BT), Collision Tree Protocol (CT) та багато вдосконалених протоколів на їх основі, та недетермінований алгоритм на основі алгоритму ALOHA такі як Frame Slotted Protocol ALOHA (FSA) та різні протоколи Dynamic Frame Slotted ALOHA (DFSA). Усі ці традиційні протоколи припускають, що вони працюють у статичній системі RFID, тобто жоден тег не надходить і не виходить з діапазону зчитувача. Іншими словами, кількість тегів у діапазоні зчитувача не змінюється під час ідентифікації тегів.

Детермінований алгоритм двійкового дерева полягає в тому, що зчитувач вибирає тег для зв'язку відповідно до унікальності ідентифікатора тегу, тому продуктивність алгоритму різко погіршується зі збільшенням ідентифікаційної цифри. у протоколах, що базуються на QT, якщо ідентифікатор нового тегу, що приходить, менше ідентифікатора тегу, який щойно визначив зчитувач, тег буде бракувати зчитування. У протоколах, заснованих на BT, початковим значенням лічильника тегів вважається 0; але воно може бути зменшеним до -1 і призвести до того, що тег буде відсутнім для читання, якщо тег потрапляє в область читання в читабельному циклі або в режимі очікування, безпосередньо до того, як читач повідомить неідентифіковані теги про зменшення їх лічильників на 1. Тоді як у

протоколах DFSA, нові введені теги порушують точність оцінки розміру кадру та впливатимуть на ефективність ідентифікації тегів, оскільки оцінка базується на станах історії каналу: читається, стикається та не працює. У більшості додатків RFID кількість тегів, як очікується, буде дуже великою. Затримка алгоритму двійкового дерева надто велика, щоб відповідати вимогам ідентифікації в реальному часі в щільних середовищах RFID. Деревозаснований алгоритм протидії колізії ефективний, коли кількість тегів невелика, але такий підхід є менш ефективним, коли кількість тегів велика. Тому деревоподібні протоколи вважаються непридатними для динамічної ідентифікації тегів. Також існує алгоритм боротьби зі зіткненнями тегів [5], керований читачами, в якому кожен тег випадковим чином передається у вибраному слоті відповідно до команди читача. Цей алгоритм простий, а вартість його використання низька. Алгоритм Aloha ділиться на Pure Aloha (PA) [6], Slot Aloha (SA) [7], Frame Slot Aloha (FSA) [8] та Dynamic FSA (DFSA) [9]. Алгоритм DFSA був запропонований для покращення продуктивності Aloha і зараз широко використовується.

Тому багато протоколів проти зіткнень, запропонованих для динамічної ідентифікації тегів RFID, базуються на протоколі ALOHA, особливо DFSA.

Алгоритм ALOHA включає основний алгоритм ALOHA (Pure ALOHA, PA), алгоритм ALOHA з прорізами, алгоритм ALOHA з кадровим інтервалом та динамічний алгоритм ALOHA з прорізом. ALOHA, DFSA) [7] [8]. Алгоритм прорізування динамічного кадру заснований на вдосконаленні перших двох алгоритмів. Алгоритм DFSA покращує недолік великої кількості витрат слотів в алгоритмі FSA. Після закінчення розпізнавання кадру, відповідно до ситуації з зіткненнями в попередньому слоті кадру, читач оцінює кількість неідентифікованих тегів у наступному кадрі, а потім регулює довжину кадру для наступної ідентифікації, таким чином вирішує проблему алгоритму FSA де занадто багато витрат слотів, що значно покращує швидкість пропускання каналу.

У цій роботі ми розглядаємо сценарій безпілотного літального апарату (БПЛА), де можна попросити користувача визначити мітки, і мітки можуть мати кілька частот. Порівняно з традиційною системою RFID, система RFID на основі БПЛА має більше охоплення. Читачі можуть ідентифікувати кілька тегів різної частоти в одному часовому інтервалі. Керуючись цією функцією, ми пропонуємо новий алгоритм боротьби з колізією для IoT, названий протоколом протидії колізії для множини міток на основі безпілотних літаючих апаратів (ПКМ).

По-перше, ми розробляємо протокол ПКМ, користуючись перевагами DFSA. ПКМ може адаптивно та динамічно регулювати довжину кадру. Він обчислює кількість тегів, які слід ідентифікувати, відповідно до кількості тегів, успішно визначених у першому кадрі. Відповідно до результату оцінки та успішно ідентифікованих тегів у вихідному кадрі, зчитувач регулює довжину наступних кадрів, щоб виконати оптимальну ідентифікацію.

По-друге, метод вирішення проблеми боротьби із колізіями призначений для щільних середовищ RFID. Щоб скоротити час ідентифікації, ми розробили багаточастотні мітки для участі в ідентифікації. Таким чином, на основі багаточастотних міток зчитувач може ідентифікувати більше тегів з меншою кількістю часових інтервалів. Крім того, ми будуємо інтеграцію повітря-земля IoT БПЛА. Покриття зчитувача буде ширшим, що зменшить виникнення колізій зчитувач-зчитувач.

По-третє, ми провели велике моделювання на ПКМ для аналізу ефективності системи та часу ідентифікації. Ефективність ПКМ також протиставляється традиційним алгоритмам протидії зіткненням тегів RFID, таким як Pure Aloha (PA), Slot Aloha (SA), Frame Slot Aloha (FSA) та Dynamic FSA (DFSA). Результати демонструють, що запропонована схема MFPR може забезпечити кращі показники ефективності системи та часу ідентифікації.

У порівнянні з традиційними протоколами протидії виникнення колізії міток для щільних середовищ RFID, запропонований ПКМ має кілька особливостей та переваг, як показано нижче.

- Використовуючи БПЛА як зчитувачі для зв'язку з усіма тегами, мережеві топології IoT є тривимірними (3-D), а не двовимірними (2-D) в системі RFID. Завдяки високій мобільності та гнучкому розгортанню БПЛА, протокол ПКМ може охоплювати ширший спектр комунікацій та зменшувати потребу в установці зчитувачів.

- З метою збільшення кількості ідентифікаційних міток за одиницю часу та зменшення ймовірності колізій для участі в роботі з ідентифікацією використовуються мітки з різною частотою. Таким чином, протокол ПКМ робить це можливим для IoT з великою кількістю міток.

Метою роботи є вирішення проблеми колізій міток у щільних середовищах RFID, що використовуються у технологіях Інтернету Речей, шляхом розробки протоколу запобігання колізій в мережі IoT з використанням безпілотних літальних апаратів.

Об'єкт дослідження – колізії міток у щільному середовищі RFID в технологіях IoT;

Предмет дослідження – протокол запобігання колізій в мережі IoT з використанням безпілотних літальних апаратів;

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ПРОТОКОЛІВ ПРОТИДІЇ КОЛІЗІЙ МІТОК

ALOHA - це протокол контролю доступу (MAC) для передачі даних через спільний мережевий канал. Використовуючи цей протокол, кілька потоків даних, що походять з декількох вузлів, передаються через багатоточковий канал передачі. Існує два типи протоколів ALOHA - Pure ALOHA та Slotted ALOHA.

1.1 Pure Aloha

У Pure Aloha час передачі безперервний. Щоразу, коли станція має доступний кадр, вона надсилає кадр. Якщо сталося зіткнення і кадр зруйнований, відправник чекає випадковий проміжок часу перед повторною передачею.

1.1.1 Принцип роботи

Після передачі кадру станція чекає протягом кінцевого періоду часу, щоб отримати підтвердження. Якщо підтвердження не отримано протягом цього часу, станція припускає, що кадр був зруйнований через зіткнення, і повторно відправляє кадр.

Зіткнення відбувається, якщо кілька каналів намагаються зайняти канал одночасно. Ситуація зображена на наступній схемі (рис.1.1):

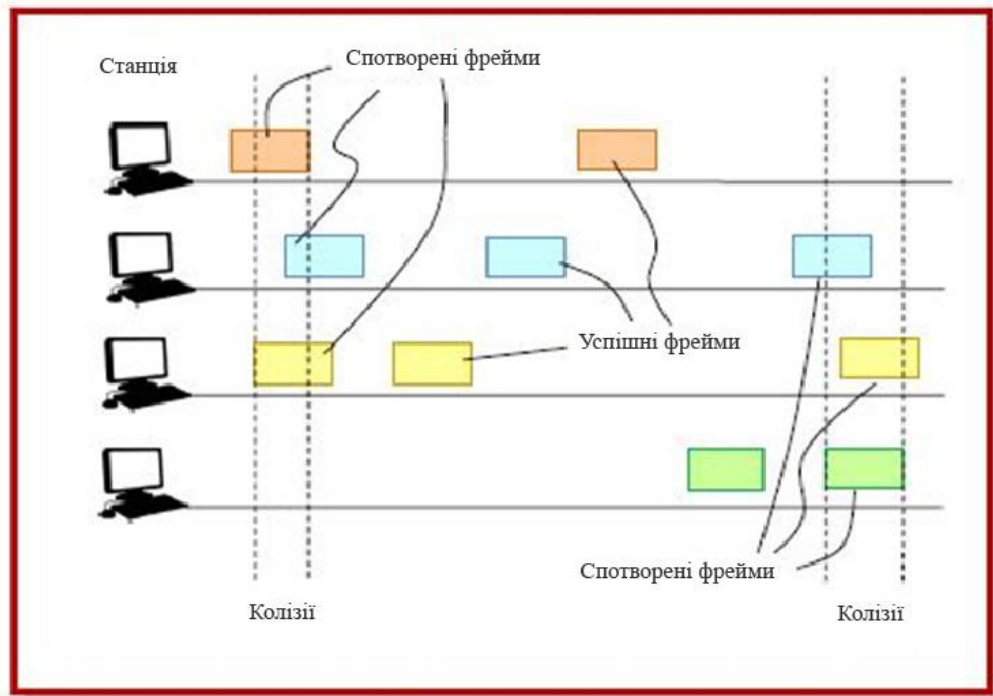


Рис.1.1 Зображення ситуації одночасного зайняття каналу кількома каналами

1.1.2 Пропускна здатність Pure ALOHA

Нехай T - час кадру, тобто час, необхідний для передачі 1 кадру.

Нехай G - кількість спроб передачі за час кадру.

Імовірність того, що k кадри генеруються під час кадру, задається розподілом Пуассона –

$$P(k) = \frac{G^k e^{-G}}{k!} \quad (1.1)$$

З цього можна сказати, що ймовірність генерування 0 кадрів ($k = 0$) за час кадру становить e^{-G} .

У випадку чистого ALOHA вразливий період часу, щоб зіткнення не відбулося між двома кадрами, дорівнює двом кадрам, тобто $2T$. За $2T$ час середня кількість спроб передачі становить $2G$.

Імовірність того, що 0 кадрів ініційовано у вразливий період часу, буде

$$P(0) = e^{-2G} \quad (1.2)$$

Пропускна здатність, S , обчислюється як кількість спроб передачі за час кадру, G , помножена на ймовірність успіху, $P(0)$.

$$S = G * P(0) \quad (1.3)$$

$$S = G * e^{-2G} \quad (1.4)$$

1.1.3 Максимальна пропускна здатність Pure ALOHA

Максимальна пропускна здатність виникає, коли $G = 0,5$.

Таким чином, максимальна пропускна здатність –

$$S_{max} = 0,5e^{-2*0,5} = \frac{1}{2e} = 0,184 \quad (1.5)$$

Таким чином, можна бачити, що максимальна пропускна здатність становить лише 18,4% у Pure ALOHA. [62]

Відповідно до останнього стандарту RFID, глобального UHF Gen2 EPC, алгоритм вирішення зіткнень на основі Aloha є фактичним протоколом MAC для пасивної системи RFID завдяки своїй ефективності, і його легко впровадити. Далі я даю попередні знання щодо двох найважливіших алгоритмів вирішення зіткнень на основі Aloha, FSA та DFSA.

1.2 Протокол "Aloha" зі слотами кадрів (FSA)

Протокол Aloha зі слотами кадрів (FSA) широко застосовується в системах радіочастотної ідентифікації (RFID) в якості фактичного стандарту ідентифікації тегів. Як варіант SA, FSA ділить тимчасові інтервали на кадри, і користувачеві дозволяється передавати тільки один пакет на кадр. В алгоритмі FSA всі суперечливі кадри мають однакову довжину. Коли тег надсилає свої дані читачеві, він випадковим чином вибирає слот у суперечливому кадрі для своїх даних, а потім читач надішле тегу підтвердження, якщо читач отримає дані успішно. Слід звернути увагу, що в FSA зчитувач використовує фіксований розмір суперечливого кадру, і тег

надсилатиме свої дані в циклічній послідовності, поки дані не будуть успішно отримані зчитувачем.

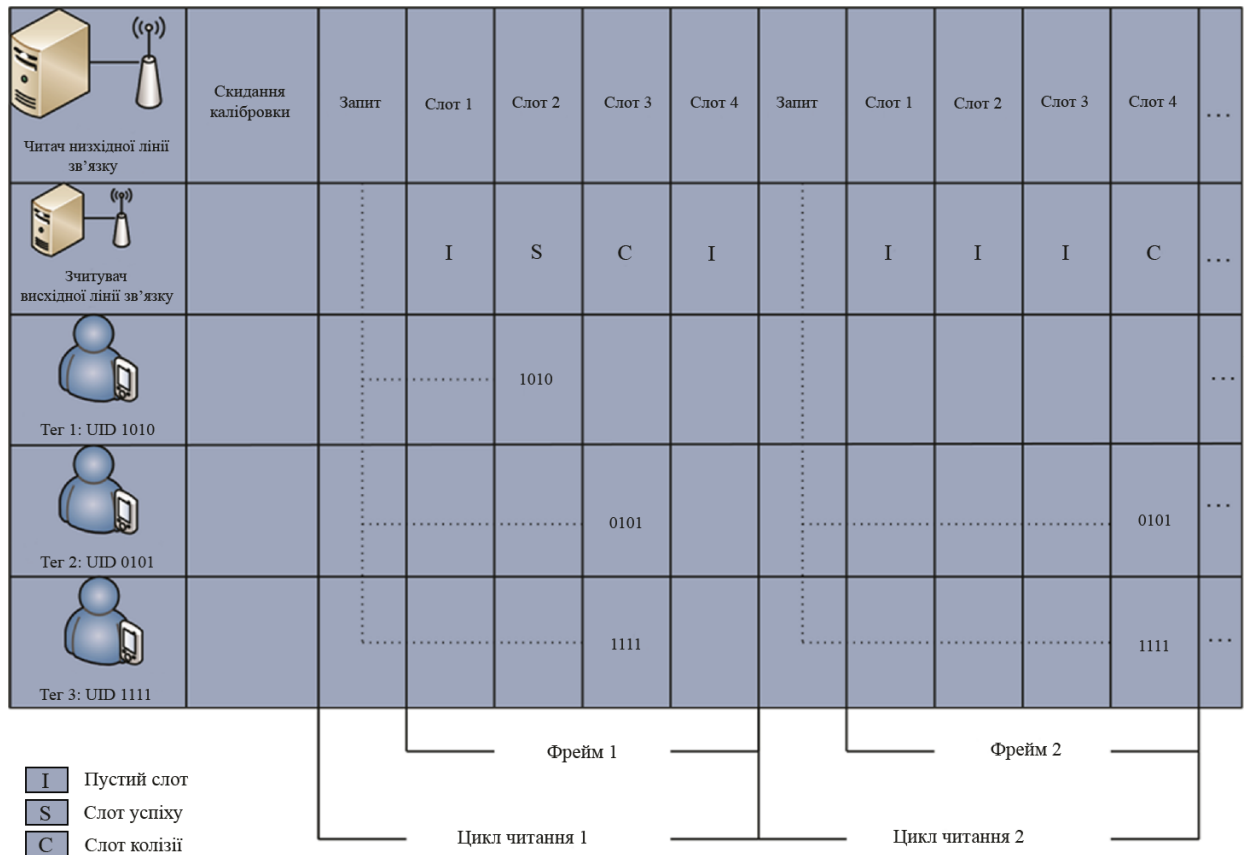


Рис. 1.2 Алгоритм розв'язання зіткнень FSA

Як показано на рисунку 1.2, припустимо, що існує три теги, які потрібно розпізнати, а суперечливий розмір кадру - чотири. Спочатку читач надсилає команду запити до тегів, і він також повідомляє тегам, що суперечливий розмір кадру одночасно становить чотири. У першому циклі читання, тег 2 і тег 3 передають свої дані в слот 3 одночасно, і, отже, сталися колізії. Тег 1 і лише тег 1 надсилає свої дані у слот 2, а отже, тег 1 може бути успішно розпізнаний читачем. Цей процес не припиняється до тих пір, поки всі теги не були розпізнані або не відбудеться зіткнення в одному суперечливому кадрі.

Алгоритм FSA неефективний, оскільки ця стратегія може спричинити високий рівень зіткнень, якщо читач вибере невеликий суперечливий кадр. Однак, якщо зчитувач вибирає великий суперечливий розмір кадру, це теж

погано, оскільки це може створити багато простоїв, що не працюють, а це також означає втрату пропускнуої здатності.

1.3. Протокол Aloha зі динамічними слотами (DFSA)

Оскільки невеликий розмір конкуруючого кадру може спричинити велику кількість зіткнень і призвести до втрати смуги пропускання в щільних середовищах, а великий розмір конкуруючої кадри може призвести до великої кількості простоїв, а також призведе до втрати смуги пропускання в рідкісних середовищах, читач повинен мати можливість динамічного регулювання розміру суперечливого кадру відповідно до кількості неідентифікованих тегів. Для покращення продуктивності систем RFID було запропоновано вдосконалену версію FSA, алгоритм DFSA. Взагалі, алгоритм DFSA має кращу продуктивність, ніж алгоритм FSA, оскільки в алгоритмі DFSA зчитувач може динамічно регулювати розмір суперечливого кадру відповідно до кількості неідентифікованих тегів. Рисунок 1.3 ілюструє процес алгоритму розв'язання зіткнень DFSA. Як показано на рисунку 1.3, припустимо, є три теги, які потрібно розпізнати, і спочатку розмір суперечливого кадру - 4. Спочатку зчитувач надсилає команду запиту тегам і вказує розмір суперечливого кадру. У першому циклі читання теги 2 і теги 3 передають свої дані в слот 3 одночасно, і, отже, сталося зіткнення. Тег 1 і лише тег 1 надсилає свої дані у слот 2, отже, читач може успішно розпізнати тег 1, оскільки слот 2 зайнятий. Оскільки в першому циклі читання розпізнається лише один тег, це означає, що все ще існує два теги, які потрібно розпізнати. Отже, читач може визначити новий розмір суперечливого кадру, три, для наступного циклу читання. Цей процес не припиняється до тих пір, поки всі теги не були розпізнані або не відбудеться зіткнення за один цикл читання. Загалом, очевидно, що ефективність алгоритму DFSA значною мірою залежить від правильного вибору суперечливого розміру кадру, і, звичайно, суперечливий розмір кадру

повинен бути пов'язаний з кількістю неідентифікованих тегів у системі. Однак, коли читач не може знати точну кількість невстановлених тегів, читачеві важко прийняти правильне рішення.

Щодо того, як оцінити кількість неідентифікованих тегів, у літературі було достатньо обговорено це питання. У [10–13] автори розробили наступні рівняння для оцінки кількості неідентифікованих міток у системах RFID. Параметри a_0 , a_1 та a_m - це очікувані значення режимів простою, успіху та зіткнень у конкуруючому кадрі, а E , S та C - спостережувані слоти простою, успіху та зіткнень. Відповідно до теорії нерівності Чебишева, яка вказує на те, що в будь-якому розподілі ймовірності майже всі випадкові величини близькі до очікуваного значення, ми можемо моделювати число тегів, наступним чином:

$$\varepsilon_{vd} = \min \left| \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_m \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} E \\ S \\ C \end{pmatrix} \right| \quad (1.6)$$

Очікувані значення кількості холостих, успішних та зіткнених слотів складають

$$a_0 = N \left(1 - \frac{1}{N} \right)^n, \quad (1.7)$$

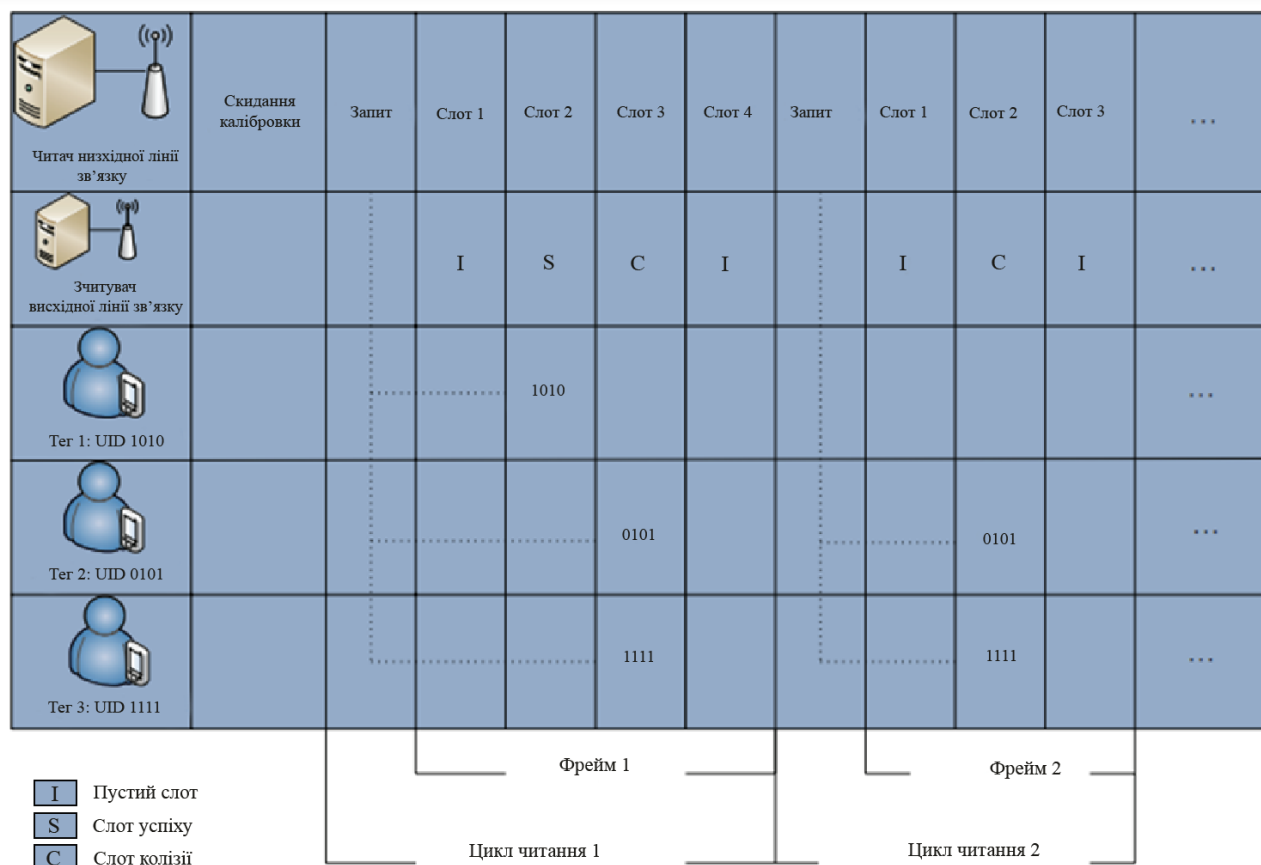


Рис 1.3 Алгоритм розв'язання зіткнень DFSA

$$a_1 = n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}, \quad (1.8)$$

$$a_m = 1 - a_0 - a_1, \quad (1.9)$$

де n - кількість суперечливих тегів, а розмір суперечливого кадру - N .

У роботі [11] автор також зазначив, що інтуїтивно зауважено, що кількість слотів що зіткнулися, забезпечує нижню межу фактичної кількості неідентифікованих тегів, які намагаються отримати доступ до каналу протягом останнього циклу читання, оскільки деякі теги можуть передавати свої дані в тому ж слоті, і, отже, маємо

$$N = R + 2C, \quad (1.10)$$

де C - кількість слотів зіткнень, R - кількість успішних слотів, а N - передбачувана кількість тегів.

У роботі [14] автори запропонували модифіковане рівняння для оцінки кількості неідентифікованих міток. На відміну від (1.10), автори запропонували, що очікувана кількість тегів, задіяних у кожному зіткнутому слоті, може бути вирішена за допомогою наступного рівняння:

$$C_{tags} = \frac{1}{C_{rate}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - P_s}{P_c} = 2,3922 \quad (1.11)$$

де P_s та P_c позначають ймовірність успішного прорізу та щільності зіткнення. Отже, передбачувана кількість неідентифікованих тегів становить

$$N = R + 2,39C. \quad (1.12)$$

Існуючі алгоритми проти зіткнень тегів можна класифікувати на алгоритми на основі динамічного кадрювання Aloha (DFSA) [15-17], дерева запитів (QT) [18-20] та двійкового розбиття (BS) [21-22]. Серед них алгоритми QT та BS працюють шляхом рекурсивного розподілу відповідних тегів на менші підмножини до кожної підмножини, що має щонайбільше один тег. Різниця між цими двома підходами полягає в тому, що в рішеннях QT теги розділяються своїми ідентифікаторами. Тоді як у підходах BS теги діляться на двійкові випадкові числа, що генеруються в процесі поділу. Власне кажучи, методи QT походять від технології відстеження бітів [23], яка може виявити положення зіткнутого біта зчитувачем. Однак із збільшенням кількості тегів ефективність таких методів погіршується через значне відхилення частоти зворотного розсіювання між тегами [24-26].

Навпаки, алгоритми DFSA та BS є кращими для УВЧ-систем RFID. Алгоритми DFSA зазвичай використовують структуру кадру, яка містить певну кількість інтервалів часу (так звані часові інтервали) на кадр, і кожен тег відповідає читачеві випадковим вибором часового інтервалу, використовуючи свій ідентифікатор. Під час процесу ідентифікації розмір кадру динамічно оновлюється відповідно до кількості непрочитаних тегів. Коли розмір кадру дорівнює відставанню (кількості непрочитаних тегів), можна досягти максимальної пропускної здатності системи. Недавні роботи в DFSA включають вдосконалену лінеаризовану комбінаторну модель (ILCM)

[27] на основі алгоритму боротьби зі зіткненнями, ефективний алгоритм боротьби зі зіткненнями з раннім регулюванням довжини кадру (EAAEA) [28] та коригування ймовірності доступу на основі тонкогранітного Q-алгоритму (APAFQ) [29] та ін. Однак, ці алгоритми не змогли повністю запобігти зіткненню через проблему голодування тегів, при якій певний тег не може бути ідентифікований протягом тривалого часу [21]. Крім того, ефективність алгоритмів DFSA сильно залежить від початкового розміру кадру. Коли кількість тегів набагато більше розміру кадру, більшість рішень DFSA не можуть правильно відрегулювати розмір кадру, щоб впоратися з відставанням, що призводить до погіршення продуктивності [15, 27]. Тобто, рішення DFSA чутливі до основних факторів і демонструють непослідовну ефективність при широкому діапазоні відставання. Навпаки, алгоритми BS нечутливі до відставання тегів, особливо коли кількість тегів збільшується, пропускна здатність системи майже зближується до постійного значення [22, 30]. Незважаючи на те, що підхід BS може подолати голодування тегів, він має відносно велику затримку ідентифікації через процес розбиття, починаючи з одного набору з усіма тегами. Зокрема, системна пропускна здатність алгоритмів BS становить близько 0,348 [22], коли кількість тегів перевищує 100. Більшість останніх алгоритмів проти зіткнень з високою продуктивністю засновані на інтеграції алгоритмів Aloha та QT (або BS) [30-31]. Ці методи зазвичай потребують оцінки потужності популяції тегів. Також було докладено багато зусиль для підвищення точності оцінки [15-16] [27] [32]. Однак постійна оцінка кількості тегів з високою точністю вимагає великих накладних витрат і, отже, призводить до серйозних проблем у реалізації [28].

Серед усіх алгоритмів, заснованих на Aloha, Aloha (FSA) має перевагу через простоту та ефективність. Алгоритм FSA дуже схожий на прорізний протокол Aloha. Єдина відмінність полягає в тому, що в FSA він групує кілька часових інтервалів у конкуруючий кадр, і зазвичай довжина конкуруючого кадру визначається на основі поточної кількості

неідентифікованих тегів. Зокрема, згідно з попередніми роботами, ефективність алгоритму FSA є оптимальною, коли суперечливий розмір кадру дорівнює кількості неідентифікованих тегів.

Оскільки ефективність алгоритму FSA залежить від вибору відповідного розміру кадру, пропонується варіант механізму FSA, алгоритм дозволу зіткнення Dynamic Framed Slotted Aloha (DFSA) [29] для поліпшення роботи алгоритму FSA. В алгоритмі DFSA зчитувач може динамічно змінювати розмір суперечливого кадру відповідно до кількості існуючих тегів, щоб збільшити успішну частоту та зменшити частоту зіткнень з огляду на підвищення ефективності системи. Можна подумати, що легко дійти висновку про максимальну пропускну здатність системи, яку можна отримати, встановивши суперечливий розмір кадру, рівний кількості існуючих тегів [30]. Власне кажучи, пропускну здатність системи не є близькою до свого теоретичного обмеження, оскільки зіткнення все ще відбуваються, коли теги передають свої дані в зчитувач. Крім того, інформацію про кількість існуючих тегів важко отримати для читача в сучасній системі RFID.

Хоча зараз ми знаємо, що нам слід налаштовувати розмір кадру на основі поточної кількості неідентифікованих тегів, однак інформацію про точну кількість невідомих тегів отримати важко. Загалом, якщо довжина кадру менша за оптимальну, зіткнення трапляються часто. Навпаки, незароблені часові інтервали виробляються, а продуктивність системи погіршується. Тому правильна оцінка поточної кількості неідентифікованих тегів є ключовим фактором для успішного отримання відповідної довжини кадру для високої продуктивності системи.

Виходячи з вищезазначених спостережень, ми можемо виявити, що невеликий суперечливий розмір кадру може спричинити велику кількість зіткнень та призвести до втрати смуги пропускання в щільних середовищах. Однак великий розмір суперечливого кадру може спричинити велику кількість неробочих слотів, а це також призводить до втрати смуги

пропускання в рідкісних середовищах. Отже, читач повинен динамічно налаштувати суперечливий розмір кадру на основі інформації про кількість існуючих неідентифікованих тегів. Власне кажучи, вибір відповідного розміру конкуруючого кадру є ефективною методикою для покращення загальної продуктивності системи RFID.

На сьогоднішній день технологія RFID широко використовується в IoT [33], оскільки це спосіб ідентифікувати конкретні цілі та читати та записувати відповідні дані за допомогою радіосигналів, оскільки IoT вимагає щільного середовища міток для ідентифікації об'єктів. Розробка ефективного та гнучкого протоколу протидії колізій для системи RFID стає важливою у дослідницькій галузі IoT.

У ранній роботі в [34] був запропонований протокол Aloha, який є одним із широко використовуваних підходів до запобігання виникнення колізій, і автори в [35] проаналізували ефективність ідентифікації, яка є найвищою серед інших схем, коли кількість міток однакова з довжиною кадру. Дослідження в [36] представило метод для отримання високої ефективності ідентифікації шляхом динамічного регулювання довжини кадру відповідно до кількості тегів.

Нещодавно було зареєстровано кілька всебічних обстежень щодо адаптивної та динамічної протидії виникнення колізій міток на основі RFID. Автори [37] запропонували адаптивний алгоритм для мінімізації загальних часових інтервалів, необхідних для ідентифікації міток у зоні опитування зчитувача RFID. У дослідженні [38] запропоновано метод протидії виникненню колізій, що базується на технології Aloha для RFID. Він оцінює кількість решти тегів за допомогою методу ітерації секунд. Для досягнення оптимальної ефективності ідентифікації він адаптивно та динамічно регулює довжини наступних кадрів відповідно до принципу, що довжина кадру повинна бути такою ж, як і кількість міток, які потрібно ідентифікувати. Автори [39] запропонували нову схему протидії виникненню колізій, яка поєднувала алгоритм протидії зіткненням тегів та розгортання декількох

зчитувачів для вирішення проблеми зіткнення мобільних тегів. Ця схема приймає згрупований алгоритм ALOHA із різними динамічними кадрами на основі CDMA для боротьби зі колізіями, спричиненими великою кількістю тегів у відповідь на зчитувач. І він приймає алгоритм управління потужністю на основі стільникової моделі для боротьби зі зіткненнями між зчитувачами.

Ці антиколізійні протоколи, як правило, базуються на традиційних протоколах уникнення колізій і не беруть до уваги характеристики щільних середовищ RFID, такі як висока щільність міток та сценарій тривимірного зв'язку. Звичайний протокол може не враховувати мобільність пристрою зчитування. В середовищі IoT часто використовується режим розпізнавання мобільних пристроїв. Отже, у цій роботі ми повністю розглядаємо метод зв'язку з багаточастотними мітками в IoT, який не вивчався в попередній роботі. І ми вводимо БПЛА в IoT, який може гнучко ідентифікувати теги в 3-D сценах. Це представляє інноваційне застосування IoT.

1.3 Висновок до розділу

У цьому розділі було описано принцип роботи таких протоколів протидії колізії як: Pure Aloha, FSA та DFSA. Найбільш доцільними є саме протоколи FSA та DFSA, через те, що у Pure Aloha максимальна пропускна здатність становить лише 18,4%.

В FSA зчитувач використовує фіксований розмір суперечливого кадру, і тег надсилатиме свої дані в циклічній послідовності, поки дані не будуть успішно отримані зчитувачем. Алгоритм FSA неефективний, оскільки ця стратегія може спричинити високий рівень зіткнень, якщо читач вибере невеликий суперечливий кадр. Однак, якщо зчитувач вибирає великий суперечливий розмір кадру, це теж погано, оскільки це може створити багато простоїв, що не працюють, а це також означає втрату пропускної здатності.

Через це читач повинен мати можливість динамічного регулювання розміру суперечливого кадру відповідно до кількості неідентифікованих

тегів. Для покращення продуктивності систем RFID було запропоновано вдосконалену версію FSA, алгоритм DFSA. Алгоритм прорізування динамічного кадру заснований на вдосконаленні перших двох алгоритмів. Алгоритм DFSA покращує недолік великої кількості витрат слотів в алгоритмі FSA. Алгоритм DFSA має кращу продуктивність, ніж алгоритм FSA, оскільки в алгоритмі DFSA зчитувач може динамічно регулювати розмір суперечливого кадру відповідно до кількості неідентифікованих тегів.

Також алгоритм DFSA є кращим для УВЧ-систем RFID, тому для розробки протоколу запобігання колізій в мережі IoT з використанням безпілотних літальних апаратів ми користуємося перевагами DFSA. Алгоритми DFSA зазвичай використовують структуру кадру, яка містить певну кількість часових інтервалів на кадр, і кожен тег відповідає читачеві випадковим вибором часового інтервалу, використовуючи свій ідентифікатор. Під час процесу ідентифікації розмір кадру динамічно оновлюється відповідно до кількості непрочитаних тегів. Коли розмір кадру дорівнює відставанню (кількості непрочитаних тегів), можна досягти максимальної пропускної здатності системи.

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ БПЛА В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ЗАСТОСУВАННЯХ

Установлено, що в останні десять років безпілотні літальні апарати набрали величезну популярність, особливо в найбільш розвинених державах світу. Область застосування безпілотників досить широка. Вони можуть моніторити дорожню ситуацію, як міську, так і на віддалених ділянках, вести контроль за пожежною обстановкою в лісах або за паводковими водами в регіонах і багато іншого. Несучи службу, безпілотники передають знятий матеріал на ноутбук, за допомогою якого можна управляти безпілотним засобом. В недалекому майбутньому безпілотна авіація займе головне місце в порівнянні з пілотованою. Це можна пояснити тим, що при використанні безпілотників не потрібні людські ресурси, а отже ніхто не піддає своє життя небезпеці, а також тим, що у безпілотників дуже широкий спектр застосування в оборонній промисловості, в сфері безпеки, в сфері охорони здоров'я, телекомунікацій, розваг і багатьох інших сферах. В Україні спостерігається щорічний приріст в розвитку безпілотної галузі.

За оцінками експертів PwC, в найближчому майбутньому все більше компаній займуться трансформацією своїх операційних процесів з використанням безпілотних літальних апаратів. Це торкнеться в тому числі енергетичної галузі, де необхідні одночасно, як мобільність, так і висока якість інформації. Відповідно до дослідження їх Центру з розробки рішень з використанням БПЛА, наразі світовий ринок мікроавіації – БПЛА становить більше 130 млрд. доларів США. Як же розподіляються ці колосальні ресурси? Більше 45 млрд. доларів становлять послуги БПЛА для моніторингу об'єктів інфраструктури, до яких, до речі, відносять енергетику. Друге місце, з об'ємом ринку у 32 млрд. доларів, становить сільське господарство, третє місце з витратами в 13 млрд. доларів – транспортна галузь, 10 мільярдів витрачають підприємства що забезпечують безпеку, додатково значну

частину попиту формує галузь розваг та телекомунікації. Як бачимо, рівень проникнення технології БПЛА в різні галузі економіки досить значний.

Принцип надання послуг на базі БПЛА складається з трьох ключових елементів:

1. Отримання точних даних з допомогою БПЛА.
2. Обробка і «хмарне» збереження даних - аналіз зображень, що надає повну інформацію, яка раніше була недоступна. Прямий доступ до результатів з будь-якої точки світу і з будь-якого пристрою.
3. Інтеграція в операційні процеси, а саме:
 - Розбудова операційних процесів для оптимального використання результатів застосування БПЛА
 - Систематизація і регламентація операцій із застосуванням БПЛА
 - Відстеження зниження витрат і підвищення операційної ефективності

Завдяки використанню коптерів в телекомунікаційному секторі можна заощадити на розвитку наземної інфраструктури, а також на штаті співробітників. Безпілотники здатні вирішити набагато більше універсальних завдань швидше ніж люди. В умовах все більшого щоденного приросту Інтернет-трафіку, такий вибір буде більш ніж розумним. [63]

Світова тенденція спрямована на закріплення стійких позицій БПЛА у військовій і цивільній сфері. Безпілотні системи наскільки розширили асортимент, що, в деяких випадках, їм немає альтернативи [40]. Стало прийнято називати БПЛА дронами, хоча не всі дрони є БПЛА. Існує різниця між безпілотними літальними апаратами, безпілотними літальними системами (БПЛС) і дронами [41].

Дрон визначається як будь-який мобільний безпілотний транспортний засіб, тобто транспортний засіб без пілота на борту, заздалегідь запрограмований для виконання конкретного завдання в повітрі, на суші або під водою. Незважаючи на те, що спочатку термін використовувався для визначення військової машини, в наш час дрони стають більш дружніми та

доступними для широкої публіки. Отже, термін “дрон” позначає не тільки сучасні рекреаційні квадрокоптери, але й морські (наприклад, підводний човен) або наземні автономні машини, а також хобі-машини з дистанційним керуванням. При застосуванні дронів для повітряних місій, цей термін в основному використовується засобами масової інформації для позначення простого літального апарату. Вони здебільшого доступні як готові рішення.

Тоді як “дрон” відноситься до широкої категорії транспортних засобів, БПЛА застосовується саме до літаючого.

Ще одне широко використовуване поняття – БпЛК, тобто безпілотний літаючий комплекс, що є більш складним терміном, ніж БПЛА. Слово “комплекс” вже вказує на те, що це сукупність кількох предметів, тобто БпЛК складається з самого безпілотного літального апарату (БПЛА), а також обладнання, необхідного для його експлуатації – наземної станції управління, антенної системи та катапульт.

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) визначається як безпілотний літальний апарат, який літає без пілота, віддалено і повністю контролюється з іншого місця (земля, інший літак, космос) або запрограмований і повністю автономний та призначений для повернення на аеродром і для подальшого повторного використання. БПЛА – це більш технічно точний опис, якому віддають перевагу фахівці та професіонали порівняно з “дроном”. Це стосується великих безпілотних літальних апаратів з автопілотами, які знайшли ширше застосування у цивільному та оборонному секторах.

В основному, терміни схожі, але використання цих термінів має бути різним, виходячи з особливостей літального апарату, а також сфери застосування.

Раніше радіокеровані та повністю автоматизовані апарати об'єднували поняттям безпілотна авіація – літаки, керування (пілотування) якими здійснюється без пілота, за допомогою приладів різних систем, що засобами радіо (радіолокації, телебачення) подають команди на автопілот. Елементи

системи керування містяться поза літаком і можуть бути на землі, на воді і в повітрі, на місці старту, на маршруті польоту і в районі цілі.

Залежно від принципів керування є наступні різновиди безпілотних літальних систем:

- безпілотні некеровані;
- безпілотні автоматичні;
- безпілотні дистанційно-пілотовані літальні апарати (ДПЛА).

У авіації після 2000 року йде стрімке розширення саме останнього типу апаратів, і про них йдеться, коли вживають термін «безпілотник», «дрон» (англ. drone), або аббревіатуру UAV. Тобто, під терміном «безпілотник», «БПЛА», «UAV» мається на увазі саме повітряне судно, яким через канали зв'язку керує один або декілька пілотів. Спочатку БЛА розроблялись для військових і оборонних цілей, але сьогодні вони все частіше використовуються для різних цивільних цілей, в тому числі фотографій, рятувальних операцій, моніторингу інфраструктури, сільського господарства, авіаційної, та також у сфері телекомунікацій.

БЛА розрізняються за розміром, продуктивністю і типом. Вони можуть бути майже непомітними, як комахи, або великі, схожі на пілотовані літаки. Вони можуть зависати у повітрі або розвивати швидкість до 1000 км/год. Управління безпілотниками може здійснюватись за допомогою смартфона, планшета або програмного забезпечення супутникового зв'язку. Вони можуть бути запуснені за допомогою ракет, катапульти або вручну і переносити різні види матеріалів, наприклад відеокамери або добрива. Сучасні технології дозволяють літати БЛА на значні відстані протягом тривалого часу, однак переважна більшість не піднімається більш ніж на 150 м над землею. Повітряний простір на цій висоті використовується здебільшого для польотів планерів та легкомоторної авіації.

В таблиці 2.1 наведені типи безпілотних літальних апаратів за вагою.

Таблиця 2.1

Типізація безпілотних літальних апаратів за масовим показником

Тип БЛА	Поточний та потенційний вид використання	Поточне регулювання використання
Маленькі, масою до 25 кг; Ціна – від 140 до 28 000 євро	Поточне використання: дозвілля та комерційне використання (наприклад спостереження, контроль, фотографія)	Регулюється окремими правилами в країні-учасниці ЄС
Легкі, масою від 25 до 150 кг; ціна – від 55 000 до 420 000 євро	Поточне використання: геопросторова зйомка із широкою зоною спостереження. Потенційне використання: огляд трубопроводів, силових кабелів, обприскування зернових культур, пошуково-рятувальні роботи, контроль кордонів, моніторинг лісових пожеж	Регулюється окремими правилами в країні-учасниці ЄС
Великі, масою понад 150 кг; Ціна – від 670 000 євро	Поточне використання – у військовій та оборонній сфері. Потенційне використання – для перевезення вантажів і пасажирів	Підпадають під Положення 216/2008 / ЄС і EASA, не можуть управлятися на державному рівні

БПЛА бувають важкими і легкими, вертолітного й літакового типу, можуть працювати на електродвигуні або використовувати рідке паливо.

Існує набір стандартних запитань, відповіді на які дозволяють визначити не тільки тип БЛА, здатний вирішити завдання в інтересах виробничої діяльності компанії, а й спосіб його застосування. Головне питання - просторові характеристики об'єкта моніторингу: протяжність, віддаленість від місця базування, що визначає тривалість польоту, а отже, розміри БПЛА і тип його двигуна. Інший важливий параметр - потреба в передачі даних в реальному часі або доставка їх споживачеві після обробки. Відповідь на це питання визначається типом цільової апаратури і потребою в радіоканалі передачі даних.

В першу чергу, доцільно розділяти безпілотники по типу двигуна - на електричні та бензинові. Кожен тип має переваги і недоліки. Для моніторингу нафтопроводів важливі два критерії - час польоту і надійність. Час польоту грає велику роль, тому що обсяги робіт зазвичай колосальні. Тут, безумовно, виграють БПЛА з двигуном внутрішнього згорання. Однак потрібно розуміти, що погодні умови часто не дозволяють виконувати такі довгі вильоти (близько 8-10 годин), які можуть запропонувати нам бензинові літаки. Сучасні електричні безпілотники мають можливість виконувати зйомку протягом 3-4 годин, цього цілком вистачає в разі складних погодних умов.

Надійність і безпека - характеристики, важливі для будь-якого обладнання. За цим фактором переваги мають електричні свержмалі БПЛА. Чим менше вага, тим менше пошкоджень безпілотник завдає сам собі під час посадки, що, в свою чергу, продовжує термін служби, знижує амортизацію. Безпека також за малою вагою - уявіть наслідки для людей та речей в разі потрапляння в нього «снаряда» вагою 30 кг і більше.

Як правило, для обстеження об'єктів, розташованих на значній відстані (до 50-70 км), використовують безпілотники літакового типу. Апарати вертолітного типу швидше підійдуть для близько розташованих, але потребують детального вивчення об'єктів, наприклад, для оцінки технічного стану трубопроводу. Такі «міні-гелікоптери» можуть наближатися до об'єкта на мінімальну відстань і «зависати» на одному місці.

БПЛА не мають екіпажу, систем життєзабезпечення та іншого додаткового обладнання, яке гарантує безпеку людини на борту. Тому може запропонувати велику дальність і витривалість, що робить їх більш ефективними, ніж аналогічні пілотовані системи. Крім цього, важливим моментом для безпілотника є відсутність впливу людського фактору при управлінні апаратом в екстремальних умовах, що перевищують або межують із фізіологічними можливостями організму.

БПЛА можуть літати віддалено/автономно за допомогою контролера, мобільного телефону, комп'ютера або навіть планшета. Вони характеризуються можливістю автономного польоту і можливістю працювати на великих відстанях з безпечною передачею прямої трансляції. Управління БПЛА можна класифікувати і розділити на три основні категорії:

– Дистанційне керування пілотом – статична автоматизація оператора, коли всі рішення приймаються дистанційним оператором.

– Віддалене контрольоване управління – адаптивна автоматизація. Воно дає дронам можливість запускати і виконувати заданий процес незалежно один від одного, з можливістю втручання людини, якщо це необхідно.

– Повне автономне управління – системна статична автоматизація, коли дрони можуть приймати всі необхідні рішення для успішного завершення місії без необхідності втручання людини.

До БПЛС відносяться БПЛА і дрони, а також оператори, що керують ними. БПЛА – це тип БПЛС, оскільки він відноситься до керованого транспортного засобу або літака. Налічується багато класифікаційних ознак, за якими ділять БПЛА [42]: за масштабом завдань, що вирішуються, за масою, за тривалістю польоту, за практичною стелею польоту, за типом літального апарату, за базуванням, за використанням, за типом системи керування, за правилами польоту, за типом крила, за напрямком, за паливною системою, за типом паливного бака, за кількістю використань та за радіусом дії.

БПЛА широко застосовують в усіх сферах людської діяльності, які за використанням можна поділити на: військові, цивільні та антитерористичні. В свою чергу цивільні поділяються на: державні, комерційні, транспортні. Основним недоліком безпілотних літаків в порівнянні з пілотуючими є

менша гнучкість і автономність застосування, обумовлені недостатнім сучасним рівнем розвитку програмного забезпечення, що не завжди дозволяє повністю компенсувати відсутність екіпажу на борту. З огляду на недоліки, слід урахувати питання, які виникнуть в разі спроб створення повністю автоматизованого БПЛА в найближчому майбутньому. Наприклад, пасажирські перевезення, що вимагають підвищеної надійності, мають забезпечуватися присутністю на борту екіпажу, здатного взяти на себе управління у випадку збою в роботі автоматичної системи управління, або для нестандартних дій з порятунку літака в критичній ситуації. При виборі альтернативи між пілотованим і безпілотним літаком слід проводити їх комплексне порівняння з урахуванням всієї сукупності переваг і недоліків застосування БПЛА при вирішенні того чи іншого завдання. Ряд наступних проблем пілотованого ЛА робить БПЛА альтернативним засобом:

- велика тривалість польоту, несумісна з роботоздатністю екіпажу;
- тривалий політ на великій швидкості з урахуванням рельєфу місцевості, пов'язаний з тривалою дією різних перевантажень, з якими не можуть справитися льотчики;
- маневрування з перевантаженнями і кутовими швидкостями, що перевищують порогові значення для організму людини;
- застосування на борту літака радіоелектронних засобів, що створюють поля зі згубним впливом на людину;
- застосування літального апарата в умовах хімічного або радіоактивного зараження.

В даний час БПЛА знайшли застосування при вирішенні різних завдань силових структур. Перш за все, для пошуку і контролю ситуації використовують мікролітаки і дрони, що запускаються з руки, і призначені для з'ясування тактичної обстановки або використання стратегічних БПЛА, які курсують більше доби на висотах до 20 км і здійснюють моніторинг в

залежності від поставленого завдання. БПЛА літакового типу також можуть бути задіяні для:

- радіоелектронної боротьби;
- ретрансляції зв'язку, в тому числі і від інших БПЛА;
- лазерного «підсвічування» цілей;
- тренування персоналу комплексів протиповітряної оборони в якості авіаційних помилкових цілей або повітряних мішеней.

2.1 Области застосування БПЛА

В цивільних цілях безпілотні літальні апарати знаходять основне застосування для різного моніторингу, з метою:

- спостереження за громадським порядком, транспортним рухом, державним кордоном, заповідниками і надання інформаційної допомоги у виявленні та затриманні правопорушників;

- контролю над станом доріг, транспортних розв'язок, залізничних вузлів, інженерних споруд, нафто- і газопроводів;

- екологічного моніторингу, науково-дослідних завдань, допомоги службам прогнозу погоди, інформаційного забезпечення при надзвичайних ситуаціях (лісові пожежі, техногенні катастрофи тощо.).

- Дані, отримані за допомогою коптерів, використовуються для перевірки працездатності веж, пошуку несправностей, відеоспостереження за ремонтними роботами. Це дозволить суттєво скоротити час для проведення планового контролю.

- Коптери допоможуть при плануванні розташування мережі веж. Технологія допоможе виявити можливі перешкоди для якості сигналу. Отримана інформація послужить базою для визначення оптимального місця розташування та висоти антен.

- БПЛА можуть використовуватися як для виявлення місць пошкоджень при НС, так і в процесі відновлення інфраструктури

телекомунікаційної мережі. У деяких випадках, коптери можуть короткочасно працювати як міні-антени. Для цього використовують так звані Flying COWs (Cell on Wings), які здатні утримуватися в повітрі, споживаючи електроенергію з наземної станції по кабелю.

- Виробники дронів сподіваються, що потреба у застосуванні безпілотників для перевірок вітрових турбін значно збільшиться у майбутньому. Промислові альпіністи не можуть спокійно вийти на лопасті, щоб подивитися на них, і коли мова йде про перевірки лопастей, промислові альпіністи потрапляють у дуже небезпечні умови праці. Залежно від того, яким саме відеореєстратором обладнано дрон, ви можете отримати дійсно докладний образ із зображенням 1 мм на піксель для неруйнівного контролю та виявлення пошкоджень. Це величезний фактор безпеки, оскільки працівники не повинні будуть виконувати сходження в небезпечні місця, а оператори можуть отримувати дані швидко і ефективно. Дрон у повітрі над полем вітрових турбін може збирати інформацію та зображення для моніторингу, картографування, планування та структурного аналізу. За допомогою теплової камери, прикріпленої до дрона, можуть проводитися візуальні перевірки для виявлення провідних гарячих точок або зламаних ізоляторів. Коронний розряд, рідина, що іонізується навколо електрично зарядженого провідника, також може бути виявлена ультрафіолетовою камерою для позначення пошкоджених апаратних засобів, таких як ізолятори або провідники. Крім того, дрони можуть бути використані для розробки та створення 3D-зображень щоб інженери та оператори могли отримати більш детальний вигляд пошкоджень, таких як тріщини або ерозія, не зупиняючи обертання турбіни.

- Дрони можуть використовуватися в нафтогазовій галузі для проведення повітряної інспекції факельних труб, паливних сховищ, ліній електропередач та трубопроводів. Їх основний козир - можливість доступу до важкопрохідних або небезпечних зон, БПЛА дозволяють економити значні кошти і підвищують безпеку проведення робіт. За допомогою безпілотника

можливий збір великої кількості даних, на основі яких складаються моделі, що відображають збої і неполадки в роботі бурової установки. БПЛА може обстежити такі елементи технологічних вузлів, які або небезпечні, або недоступні для людини без зупинки всього процесу, наприклад - факельні системи. Дрони також здатні відстежувати тріщини і корозію і картографувати динаміку їх поведінки, виявляти витoki газу, розливи нафти, а також запобігати спробам незаконних врізок в трубопровід, що загрожує розкраданнями або аварією. За допомогою безпілотних літальних апаратів можна проводити інспекцію та патрулювання, обстеження лінійної частини та моніторинг трас магістральних трубопроводів. За допомогою безпілотників можливо ефективно контролювати об'єкти видобутку вуглеводнів, здійснювати моніторинг поточного стану будівельних майданчиків на родовищах і запобігати серйозним пошкодженням на етапі експлуатації завдяки запланованій роботі безпілотних пристроїв (планові польоти). Моніторинг нафтових родовищ можна доповнити застосуванням різних методів збору інформації для розширення можливостей в частині отримання точних даних і запобігання втрат (наприклад, інфрачервоні камери), а прикладна технологія моніторингу навколишнього середовища може бути застосована для більш якісного контролю за впливом на екологію. Використання таких технологій, як моніторинг вегетаційного індексу, дозволяє виявляти області підвищеного впливу на навколишнє середовище. Безперервний моніторинг діяльності підрядників і складання чіткої документації по всьому інвестиційному майданчику забезпечують достатню кількість доказів в разі виникнення претензій.

- Однак, за межами генеруючих електростанцій теж достатньо завдань для безпілотних засобів. Одне з найперспективніших – обстеження ліній електропередач, яке під час реалізації за допомогою наземної техніки може затягнутися на довгі дні та тижні. Інспектування ЛЕП за допомогою дронів виключає потребу висотних робіт і будь-якої взаємодії людей з експлуатуючими лініями електропередач, мінімізуючи можливі ризики

людських втрат і пошкоджень. Нажаль, такі випадки ураження електричним струмом є досить частим супутником робіт із обслуговування високовольтних ліній електропередач. За допомогою високочутливої зйомки з дронів можна виконувати як он-лайн оперативне обстеження, так і більш детальне діагностування архівованих файлів. Доведено ефективність застосування дронів для виявлення пошкоджень гірлянд ізоляторів ЛЕП, дефекти опор, ураження від повалених дерев, обледеніння. Оскільки в енергосистемах більше 40% ВЛ експлуатується 25 років і більше, актуальними стають питання про проведення робіт з технічного переозброєння, реконструкції і модернізації ПЛ. Для створення відбитка поточної ситуації, з метою визначення пріоритетності модернізації ефективним стане проект обстеження з дронів.

Крім цього, БПЛА можуть знайти застосування, як:

– сільськогосподарські літаки, які при проведенні авіахімічних робіт змушені виконувати польоти на висотах близько декількох метрів, що пов'язано з підвищеною вірогідністю зіткнення з землею та іншими перешкодами (наприклад, кроною або верхівками дерев, електричними стовпами), а також для вивчення ґрунту, вологості, контролю агротехнічних операцій і т.п.;

– вантажні літаки. БПЛА типу «дрон» або «квадрокоптер» широко застосовуються для доставки посилок, пошти і вантажів, для запилення і хімічного оброблення в сільському господарстві, в туризмі та кіно- і телеіндустрії для зйомок, з боку поліції і МНС для моніторингу дорожньої або природної обстановки.

Області застосування БПЛА (рис. 2.1) [43]:



Рис 2.1. Області застосування безпілотних літальних апаратів

– Спектрональна зйомка – найбільш інформативна і оперативна технологія збору даних в сільськогосподарському секторі. Аналіз відбивної здатності ґрунтів і рослинності в різних зонах спектра дозволяє отримувати вичерпні дані про стан рослин, ступень їх розвитку, потреби в добривах, поливі і т.д. Продуктивність дистанційного методу збору даних – поза конкуренцією [44]. Зйомка ведеться двома типами камер у видимому діапазоні та в вузько направленою інфрачервоному спектрі (рис. 2.2).

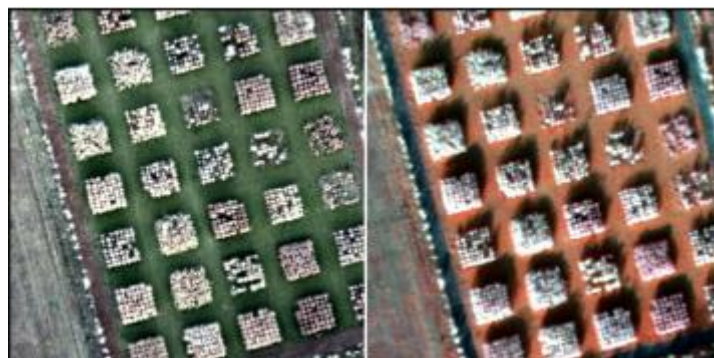


Рис 2.2. Видимий діапазон RGB та вузьконаправлений інфрачервоний спектр IR

– Аерофотозйомка – продуктивний метод документації місцевості. Зараз побачити приховані зміни стану місцевості можна не тільки з літака, але й за допомогою безпілотних технологій. При цьому технологічні можливості апарату дозволяють отримати знімки, роздільна здатність яких менша 1 см на піксель [45] (рис. 2.3).



Рис 2.3. Ортофотоплан

а – створення топографічного плану 1:2000, б – створення 3D-моделі проекту об'єкту будівництва

Аерофотозйомки новітнього покоління дають фермеру можливість скласти мульти- та гіперспектральні карти. Мультиспектральні знімки зазвичай містять зображення рослинності в 4-5 діапазонах видимого спектру та в ближньому інфрачервоному діапазоні. Такі зображення можуть виявляти бур'ян, дефіцит азоту та прогнозувати врожайність. Гіперспектральна зйомка отримує зображення рослин у видимому і інфрачервоному спектрі, використовуючи фільтри і температурні сенсори. Гіперспектральні знімки мають точно визначати причину нездорового стану рослин: конкретні хвороби, шкідники та бур'яни; дефіцит мікроелементів; родючість рослин і потенціал урожайності [46]. Аерофотозйомка відбувається з застосуванням аерофотоапарату. В результаті фотографування земної поверхні з повітря отримують знімки, що представляють собою зображення рельєфу і геологічних об'єктів в центральній проекції (рис 2.4):



Рис 2.4 Знімки зображення рельєфу і геологічних об'єктів в центральній проекції

– Геодезичні дрони ідеально підходять для потреб землевпорядників. Це промислові, функціональні безпілотники, які відповідають завданням картування місцевості і об'єктів (рис. 2.5). Мають систему супутникової навігації, яка використовується для підвищення точності даних про місцезнаходження БПЛА, яка дозволяє підвищити точність GPS-позиціонування до 2,5 см [47]. Матеріали зйомок можуть бути використані при ведення державного кадастру нерухомості та контролю містобудівної діяльності в населених пунктах; реагування на надзвичайні ситуації; контроль снігового і льодового покриву, кромки льодоставу, моніторинг місць розливів річок; оновлення топографічних карт; моніторинг різних типів об'єктів; моніторинг стану сільськогосподарських угідь, в тому числі над цільовим використанням земель, оперативна оцінка стану і ступеня деградації земель, прогноз врожайності; створення географічних інформаційних систем [49].



а

б

а – приклад двомірної ортомозаїчної карти, б – карта, створена за допомогою тепловізійної камери

Рис 2.5. Карти для топографічних даних [48]

– Моніторинг застосовують в різних сферах: для охорони важливих об'єктів (в денній і нічний час) [50]; лісових угідь (контроль за вирубкою, запобігання пожежам (рис. 2.6), оцінки збитку після катаклізмів, визначення осіб порушників) [51, 52]; в ремонтно-будівельних роботах (виявлення пошкоджень, планування ремонтних робіт, моделювання можливих небезпечних ситуацій); в нафтогазовидобувній промисловості (виявлення родовищ, контроль за виникненням аварій). Використання дронів для промислового моніторингу займає третину серед інших видів послуг і гарантує безпеку підприємству.



Рис 2.6. Моніторинг лісових пожеж з БПЛА

– Активно починають застосовувати безпілотну авіаційну техніку прикордонники. БПЛА мають засоби розпізнавання об'єктів і цілей, яка

обладнана 30-кратним збільшенням та тепловізором, що дає змогу виявляти порушників у будь-який час доби [53].

– Дрон-поліцейський – в деяких країнах поліція отримала дозвіл на використання дронів для допомоги в роботі (рис. 2.7). Застосовувати техніку дозволено з дотриманням конфіденційності населення. Безпілотники використовуються для спостереження та оцінювання ДТП, при пошуках зниклих людей або ж в разі збройних сутичок [54].



Рис 2.7. Використання поліцією США безпілотних літаків

– БПЛА для доставки вантажів клієнтам (рис. 2.8). Система доставки за допомогою безпілотників працює в тестовому режимі майже в усіх куточках світу [55]. Основна мета – термінова доставка за допомогою дронів (поштові посилки, біологічні матеріали, медикаменти, документи, гуманітарна допомога).



Рис 2.8. Доставка вантажу мультикоптерами

– Допомога в екстрених ситуаціях. Компанія Google поділилася анонсами на проєкт безпілотників-рятувальників. Вони виступлять

посередниками (здійснюватимуть зв'язок через Wi-Fi) між постраждалими та медиками, щоб ті могли проінструктувати потерпілих для надання самопомоги. А фахівці тим часом зможуть дістатися на місце виклику та встигнуть врятувати життя [56].

Допомога безпілотника очевидна, тому що вони швидше дістаються місць катастрофи і можуть подолати непрохідні для людини перешкоди (рис. 2.9).



Рис 2.9 Дрон Gimball обстежує тріщину [57]

– Дрон-офіціант. Деякі ресторани світу застосовують дрони для доставки їжі до столиків. Це приваблює клієнтів і спрощує роботу офіціантів. Відвідувачі роблять замовлення за допомогою планшетного комп'ютера, закріпленого на столі, а їжа і напої прилітають з кухні на квадрокоптерах. Дрон має чотири захищених ґратами гвинта і круглу платформу в середині, на яку і встановлюються їжа або напої на підносах (рис 2.10) [58].



Рис 2.10. Дрон обслуговує відвідувачів ресторану

Дрон, що роздає Internet. Холдинг Alphabet успішно протестував гігантський дрон Sunlider (конструкція з крилом 78 метрів), який працює на

сонячній енергії і літає на висоті 19 кілометрів. Завдання дрона роздача інтернету над територіями, де він буде пролітати (рис. 2.11) [59]:

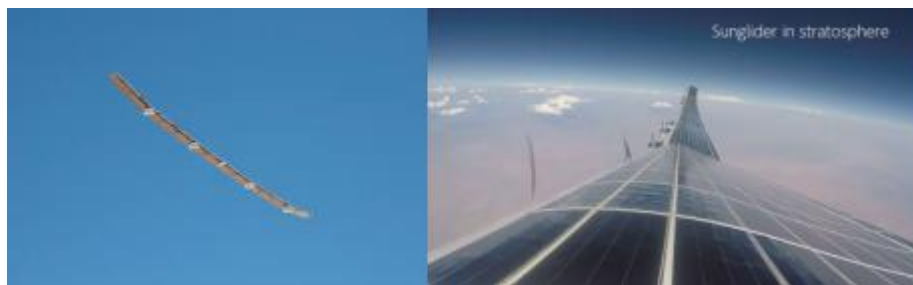


Рис 2.11. Дрон SunGlider

– Пляжний рятувальник. Для прикладу показано австралійський дрон, яким оснащені рятувальники на набережних (рис. 2.12). Їх завданням є скоротити час операції і надати допомогу у вигляді скидання рятувних засобів потопаючим. Загалом, дрони можуть доставляти потерпілим не тільки надувні засоби, але і дефібрилятори, відлякувачі акул, набори для виживання (воду, комплект першої допомоги, рацію) [60].



Рис 2.12. Пляжний дрон-рятувальник

2.2 Переваги використання БПЛА

Перевагами використання БПЛА є:

– Швидкість – необхідна інформація з БПЛА може бути надана клієнту швидше за допомогою спеціальних камер та каналу даних, а не за допомогою традиційних методів зйомки, які іноді можуть бути повільнішими.

- Широкий спектр застосування - у БПЛА дуже широкий спектр застосування в оборонній промисловості, в сфері безпеки, в сфері охорони здоров'я, телекомунікацій, розваг і багатьох інших сферах.
- Економічність – дані отримуються швидше, ніж за допомогою звичайних методів збору, тому різні місії можна виконувати за коротший проміжок часу, таким чином, вартість нижча, ніж при використанні інших апаратів.
- Безпека – операторам БПЛА не потрібно знаходитися на території, яка може бути небезпечною з різних причин.
- Високий рівень точності – БпЛК може отримати високоточні дані. Це пов'язано з кількістю перекриттів, отриманих під час польоту – чим більше перекриттів, тим детальніше записана інформація
- Автономність - для проведення місії чи завдання, немає потреби у залученні кваліфікованого бортового пілота, оскільки вони є безпілотними, а всі системи розроблені таким чином, що втручання людини в роботу мінімізується.
- Стійкість відносно важких умов існування - БПЛА здатний літати та збирати інформацію під час дощу, хмарності, туману та темряви.

2.3 Висновки до розділу

На сьогоднішній день БПЛА набрали величезну популярність, особливо в найбільш розвинених державах світу. Слід зазначити, що у безпілотників дуже широкий спектр застосування в оборонній промисловості, в сфері безпеки, в сфері охорони здоров'я, телекомунікацій, розваг і багатьох інших сферах. БПЛА здатні вирішити набагато більше універсальних завдань швидше ніж люди, крім того, важливим моментом для БПЛА є відсутність впливу людського фактору при управлінні апаратом в екстремальних умовах, що перевищують або межують із фізіологічними

можливостями організму. Дуже вагомою перевагою БПЛА є те, що для використання БПЛА не потребуються людські ресурси, а отже ніхто не піддає своє життя небезпеці. Також використання БПЛА дає змогу досягти більшої швидкості отримання інформації, та економії часу через більшу швидкість отримання даних, ніж за допомогою звичайних методів збору. Якщо узагальнити, цінність БПЛА полягає не стільки в самому апараті, скільки в інноваційних програмах розпізнавання і обробки даних з дронів. Саме тут зосереджена синергія співпраці авіаторів, енергетиків та програмістів. Ключовим моментом залишається оснащення дронів спеціалізованим програмним забезпеченням, яке дозволить ефективно опрацьовувати результати обстежень.

РОЗДІЛ 3. ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ НА БЛА

У цьому розділі ми представляємо модель системи БПЛА для IoT та обговорюємо принцип колізій міток.

3.1 Модель системи на основі БПЛА

Базова система RFID складається з двох основних елементів: зчитувачів та міток. На рис. 3.1 представлена основна модель системи RFID. Зчитувач - це пристрій, функцією якого є ідентифікація міток та вилучення із них інформації. Він використовує радіочастотні хвилі для зв'язку. Більш того, теги завжди пасивні, і вони не можуть активно надсилати сигнали читачеві.



Рис. 3.1. Модель системи RFID

Це дуже зріла програма для використання технології RFID для ідентифікації тегів у IoT. Однак із збільшенням кількості міток та розширенням комунікаційних областей орієнтовані на майбутнє програми IoT повинні бути розумними, гнучкими та ефективними. Отже, поєднання БПЛА з RFID може легко реалізувати програми IoT. Як показано на рис. 3.2, існує тривимірна модель системи RFID, заснована на БПЛА. Використання

фіксованого зчитувача збільшить витрати, тоді як використання БЛА зменшить витрати та підвищить ефективність.

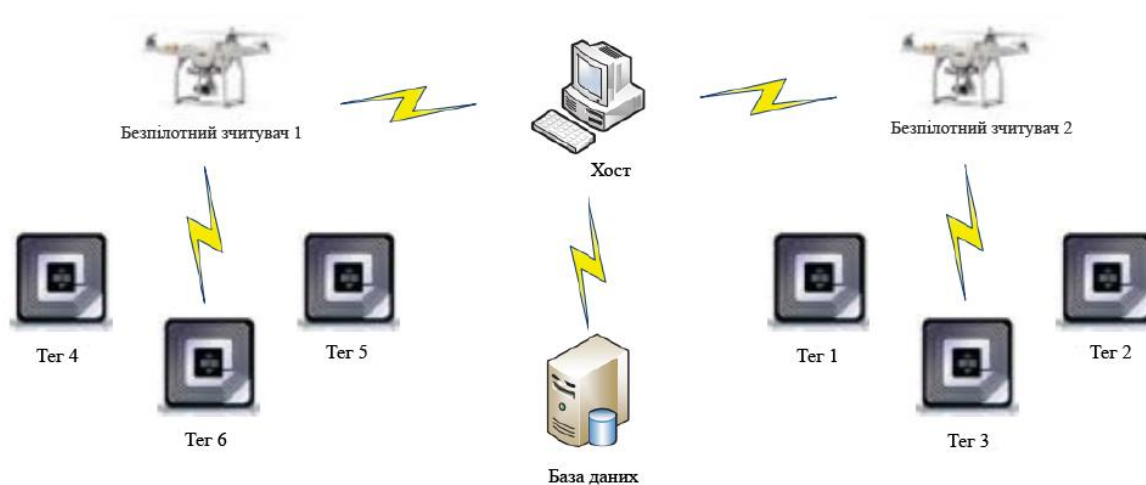


Рис. 3.2. Тривимірна модель системи RFID на основі БПЛА

3.2. Кілька колізій міток

Система RFID використовує бездротовий зв'язок для взаємодії інформації. Тому відбуватиметься колізія сигналів. Колізії міток призведуть до зниження ефективності ідентифікації системи RFID. Тому ключовим для системи RFID є вирішення проблеми ідентифікації з багатьма тегами. Загалом, існує чотири рішення для вирішення проблеми зіткнення мітки [61]. Спільний доступ з частотним поділом (FDMA), множинний доступ з часовим розподілом (TDMA), множинний доступ з кодовим поділом (CDMA) та множинний доступ з космічним поділом (SDMA). Серед них TDMA широко використовується протокол проти зіткнень. Однак, як показано на рис. 3.3, оскільки в один і той же часовий інтервал є декілька одночастотних відповідей тегів, TDMA не зможе правильно ідентифікувати тег. Передумова правильної ідентифікації тегів за допомогою TDMA полягає в тому, що в одному часовому інтервалі є лише одна відповідь тегу.

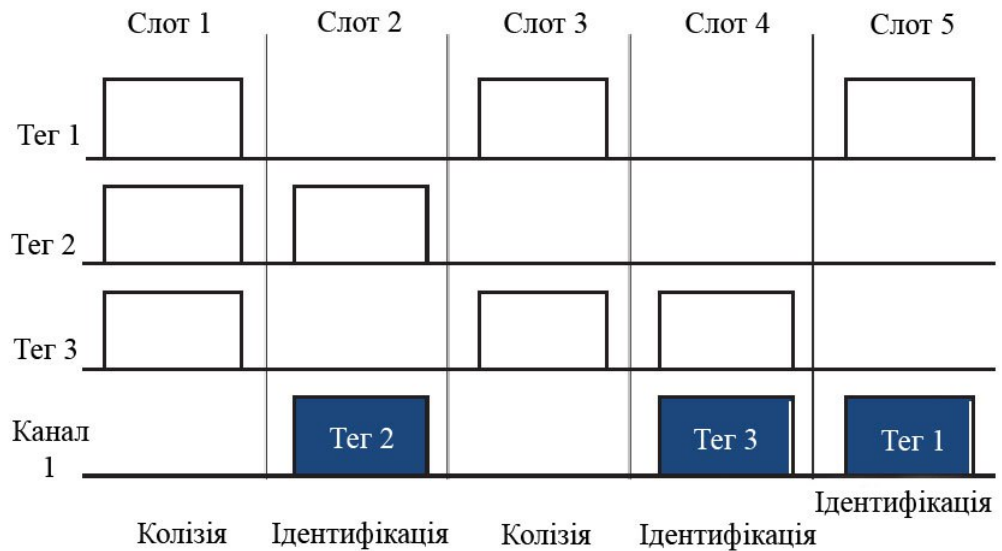


Рис. 3.3. Колізії міток на одній частоті

У щільних середовищах RFID, коли кількість міток збільшується, ймовірність виникнення колізій у каналі також збільшується. Якщо для зв'язку з пристроєм зчитування використовується одна мітка частоти, ефективність системи RFID значно знижується. Таким чином, у цій роботі ми розглядаємо систему RFID, яка включає зчитувач і багаточастотні мітки, і ми використовуємо багаточастотні мітки для зв'язку, як показано на рис. 3.4. У той же часовий інтервал зчитувач може ідентифікувати кілька міток різних частот. Колізії відбуватимуться лише тоді, коли мітки мають однакову робочу частоту і виходять на зв'язок в один і той же час.

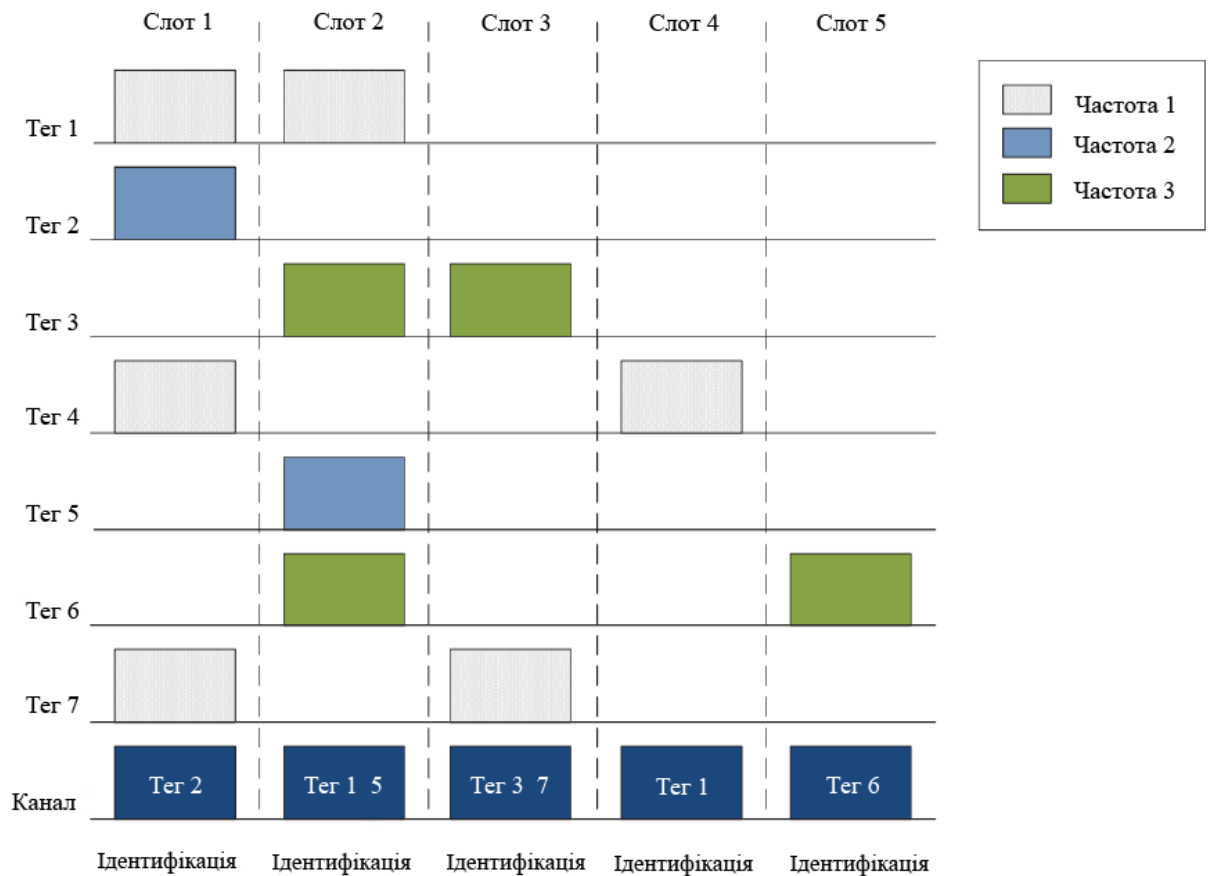


Рис. 3.4. Багаточастотні колізії міток

3.3 Висновок до розділу

У цьому розділі було розглянуто будову базової системи RFID та представлено модель системи RFID, засновану на БПЛА. Використання БПЛА дозволить зменшити витрати та підвищити ефективність у порівнянні з базовою моделлю системи RFID. Система RFID використовує бездротовий зв'язок для взаємодії інформації, тому відбуватиметься колізія сигналів. Отже, розглядається система RFID, яка включає зчитувач і багаточастотні мітки, і ми використовуємо багаточастотні мітки для зв'язку. У той же часовий інтервал зчитувач може ідентифікувати кілька міток різних частот. Колізії відбуватимуться лише тоді, коли мітки мають однакову робочу частоту і виходять на зв'язок в один і той же час, що підвищує ефективність у порівнянні з базовою моделлю системи RFID.

РОЗДІЛ 4. БАГАТОТЕГОВИЙ ПРОТОКОЛ БОРотьБИ З КОЛІЗІЯМИ НА ОСНОВІ БПЛА

У цьому розділі ми інтерпретуємо протокол протидії колізій множини міток на основі БПЛА, поєднуючи характеристики ефективності оптимальної системи та багаточастотного зв'язку. Протокол може надавати читачеві можливість читати більше тегів за той самий часовий інтервал. Протокол ПКМ в основному складається з двох етапів: отримання найкращої ефективності системи та досягнення багаточастотного зв'язку.

4.1. Оптимальна ефективність системи

Ми визначаємо N тегів у системі для очікування ідентифікації та використовуємо TDMA для розподілу часових інтервалів. Довжина кадру часового інтервалу становить L . Відповідно до характеристик тегів у часовому інтервалі, ймовірність того, що n міток вибере той самий часовий інтервал, виглядає як

$$p(n) = C_N^n p^n (1 - p)^{N-n} \left(p = \frac{1}{L} \right) \quad (4.1)$$

Після закінчення ідентифікації одного часового інтервалу успішний слот S_S , порожній слот E_S та слот C_S зіткнення зчитувача можна розрахувати як.

$$S_S = p(n = 1) = N \left(N - \frac{1}{L} \right)^{N-1} \quad (4.2)$$

$$E_S = p(n = 0) = L \left(1 - \frac{1}{L} \right)^N \quad (4.3)$$

$$C_S = p(n \geq 2) = 1 - S_S - E_S \quad (4.4)$$

Ефективність системи S - це відношення успішного часу слоту до загального часового інтервалу, який можна обчислити як

$$S = \frac{S_s}{L} = \frac{N}{L} \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{N-1} \quad (4.5)$$

Відповідно до граничних теорем і формули Тейлора, рівняння (5) виведено відповідно до неї. Нехай $\partial S / \partial L = 0$, тоді оптимальна довжина кадру системи L_0 може бути розрахована як:

$$L_0 \approx N \quad (4.6)$$

Тому можна зробити висновок, що чим ближче значення довжини кадру до кількості тегів, тим більшою є ефективність системи.

Проведено розрахунок параметрів E_s, S_s, C_s за незмінної кількості тегів, в даному випадку $N=10$. Змінним параметром була довжина кадру часового інтервалу L (значення обирались від 2 до 10). Побудовано залежності відносно довжини кадру часового інтервалу (рис. 4.1-4.3).

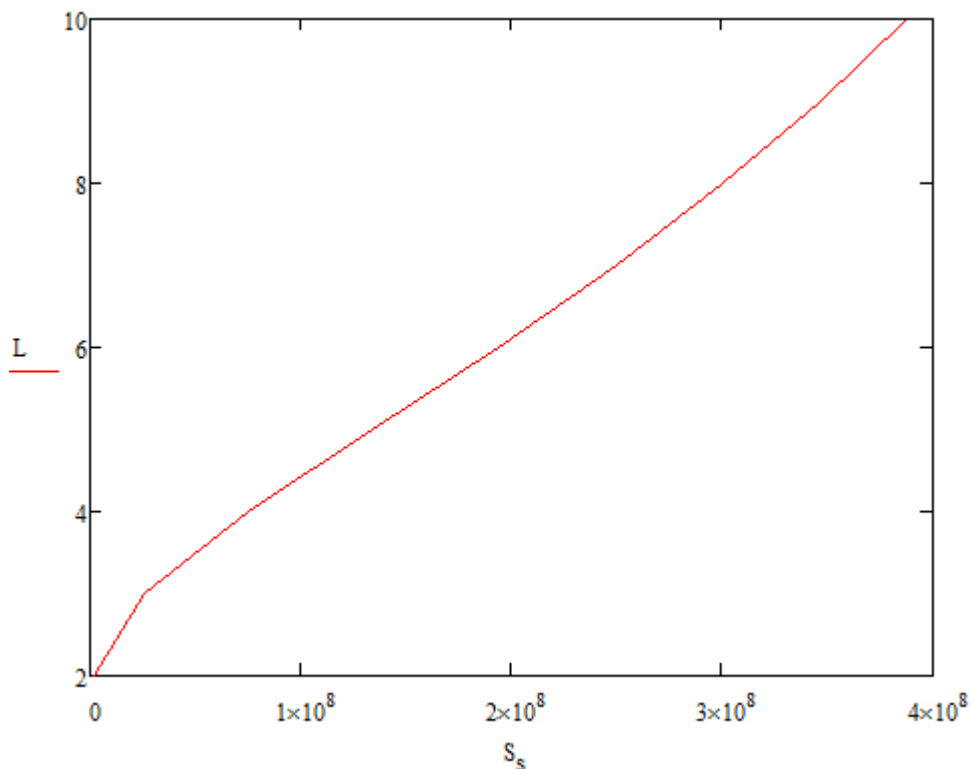


Рис. 4.1. Залежність S_s від параметру L за фіксованого параметру N

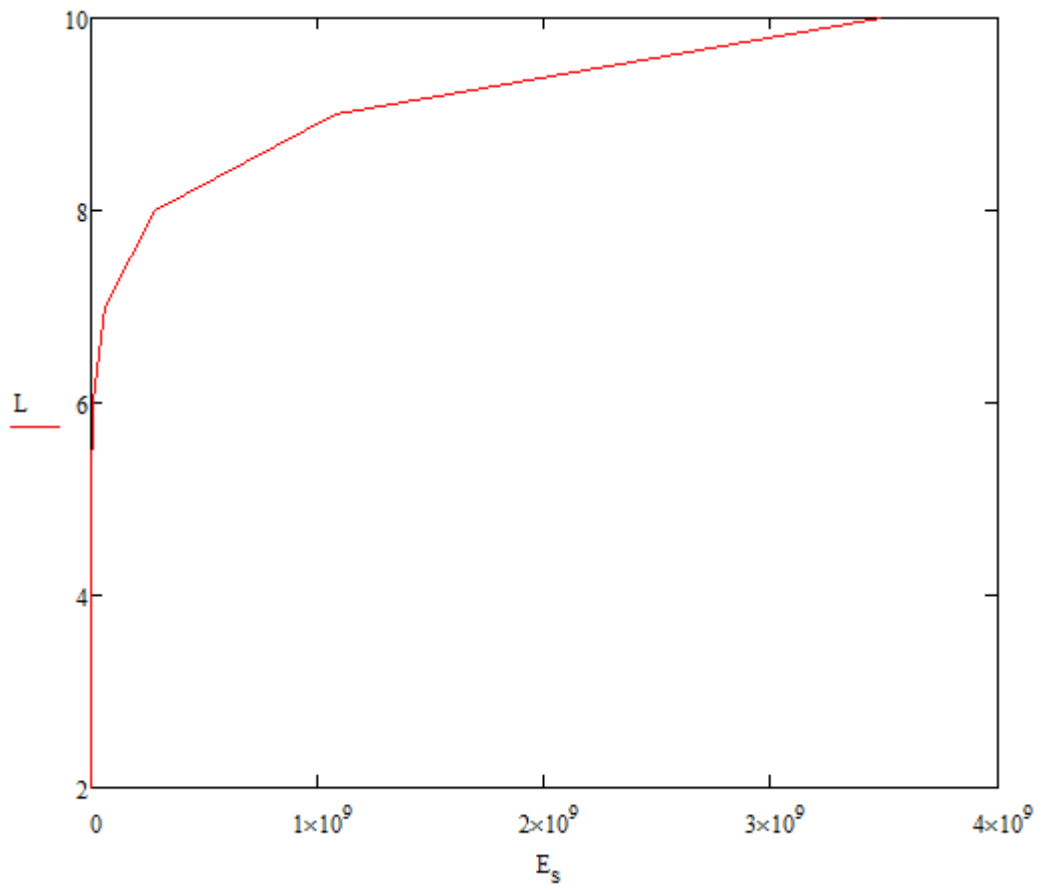


Рис. 4.2. Залежність E_s від зміни параметра L за фіксованого параметру N

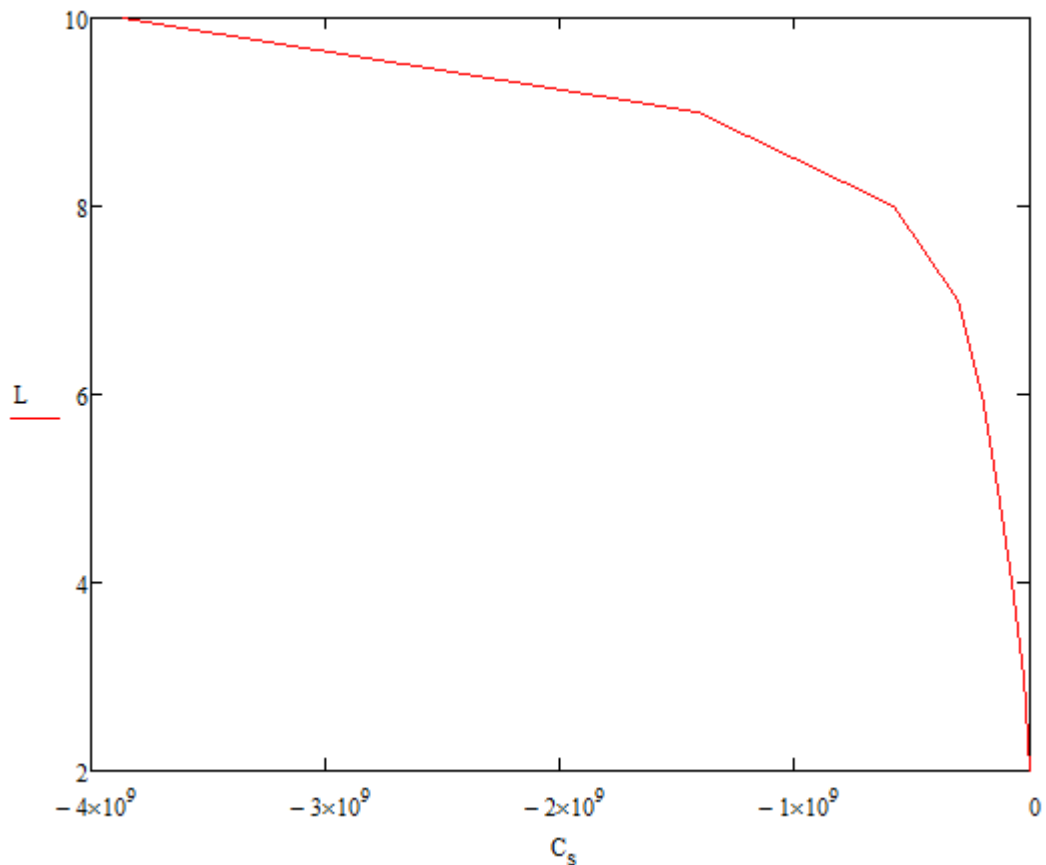


Рис. 4.3. Залежність C_s від параметра L за фіксованого параметру N

Із графіку на рис. 4.1 (характеристика успішного слоту) видно, що величина S_s плавно зростає зі збільшенням довжини кадру часового інтервалу, та наближенням значення довжини кадру часового інтервалу до значення обраної кількості тегів.

Із графіку на рис. 4.2 (характеристика порожнього слоту) видно, що величина E_s на початку досить стрімко зростає зі збільшенням довжини кадру часового інтервалу, та наближенням значення довжини кадру часового інтервалу до значення обраної кількості тегів.

Із графіку на рис. 4.3 (характеристика слота зчитувача) видно, що величина C_s досить стрімко зростає до від'ємних чисел, зі збільшенням довжини кадру часового інтервалу, та наближенням значення довжини кадру часового інтервалу до значення обраної кількості тегів.

Також було виконано розрахунок ефективності даної системи за умови незмінної в процесі розрахунку кількості тегів, та змінної довжини кадру часового інтервалу. Результати розрахунку показано на рис 4.4

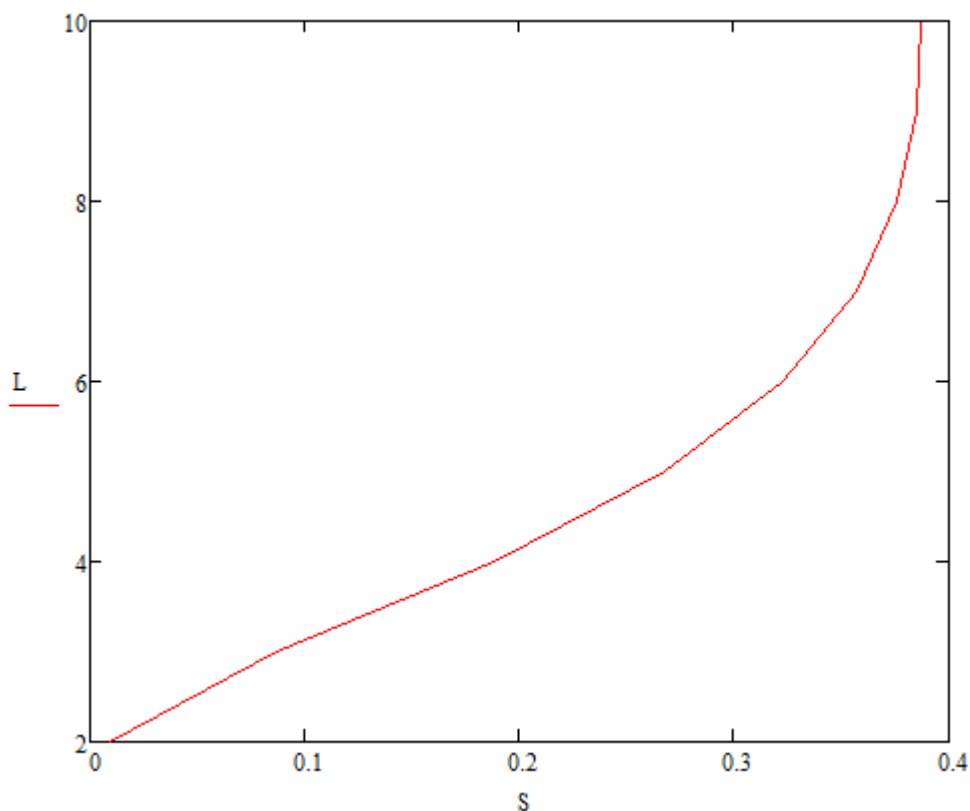


Рис. 4.4 Аналіз ефективності протоколу при умовах чисельного наближення параметра L до N

Із даної залежності видно, що чим ближче значення довжини кадру до кількості тегів, тим більшою є ефективність системи.

4.2. Багаточастотна комунікація міток

В даний час максимальна довжина кадру може дорівнювати 256.

Коли кількість тегів перевищує 256, ефективність системи неможливо збільшити за рахунок збільшення довжини фрейму. Отже, в щільному RFID-середовищі необхідно оцінити теги, які слід ідентифікувати відповідно до S_s, E_s, C_s .

Відповідно до рівнянь (4.2) - (4.4), очікуване значення зіткнення в кожному кадрі становить

$$R_c = \frac{C_s}{L} = 1 - \left(1 - \frac{1}{L}\right)^N \left(1 + \frac{N}{L-1}\right) \quad (4.7)$$

Середня кількість тегів, що містяться в кожному часовому інтервалі зіткнення, становить.

Коли кількість міток велика, наступне рівняння можна наблизити як

$$\left(1 - \frac{1}{L}\right)^L \approx e^{-1} \quad (4.9)$$

$$1 - \frac{1}{L} \approx 1 \quad (4.10)$$

Вводячи $k = N/L$ у рівняння, е можна виразити як

$$e = \frac{k(e^k - 1)}{e^k - k - 1} \quad (4.11)$$

Тег, який слід ідентифікувати, можна обчислити як

$$N_{astimate} = e * C_s \quad (4.12)$$

Відповідно до рівняння (4.12), теги згруповані для досягнення найкращої ефективності розпізнавання в межах групи. У ПКМ ми використовуємо багаточастотні мітки для ідентифікації. У той же часовий інтервал читач може ідентифікувати мітки різних частот. Отже, успішний слот S_{Snew} можна розрахувати як.

$$S_{Snew} = S_S + S_a = N \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{N-1} + S_a \quad (4.13)$$

де S_a - кількість часових інтервалів, які успішно ідентифікують кілька різних частотних міток; S_a можна обчислити як.

$$S_a = L * \frac{\sum_{a=2}^t \sum_{m=2}^a C_a^N * (C_m^t)}{\sum_{j=1}^t C_j^t} * \left(\frac{1}{L}\right)^a * \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{N-a} \quad (4.14)$$

де t - кількість усіх частот, а α - кількість частот, які можна ідентифікувати. Крім того, для спрощення результатів обчислення, ПКМ буде ігнорувати випадок, коли одночасно реагує більше тегів t в одному часовому інтервалі. Згідно з вищенаведеним аналізом, ефективність системи ПКМ можна розрахувати як.

$$E_{system\ UMTAF} = \frac{S_{Snew}}{L} \quad (4.15)$$

Детальна блок-схема запропонованого протоколу ПКМ показана на рис. 4.5.

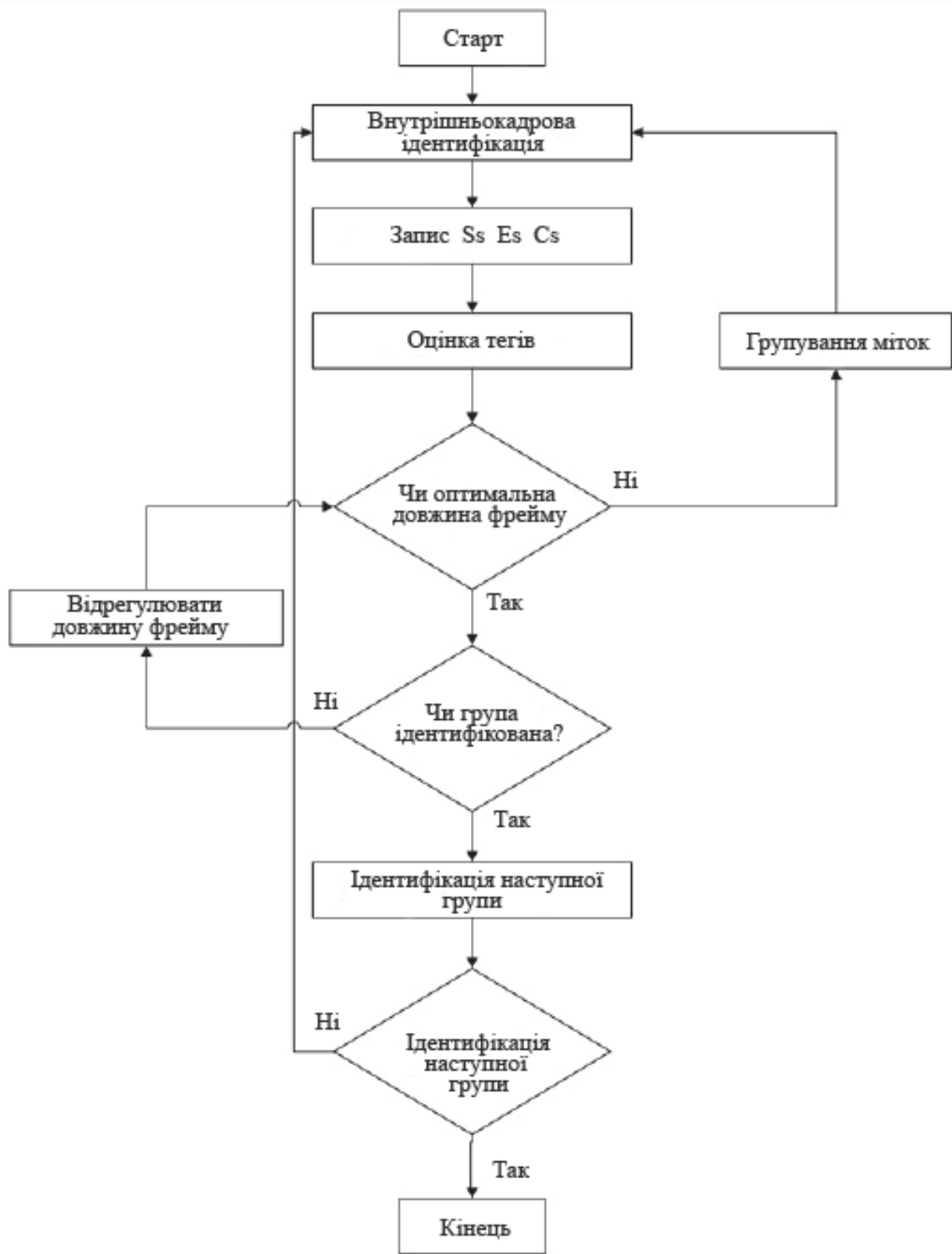


Рис. 4.5. Блок-схема ПКМ протоколу

4.3 Висновок до розділу

У цьому розділі було проінтерпретовано протокол протидії колізій множини міток на основі БПЛА, поєднуючи характеристики ефективності оптимальної системи та багаточастотного зв'язку. Було проведено розрахунок параметрів E_S, S_S, C_S за незмінної кількості тегів, та змінною довжиною кадру часового інтервалу L . Проаналізовано графічні залежності представлених параметрів. Також було виконано розрахунок ефективності даної системи за умови незмінної в процесі розрахунку кількості тегів, та змінної довжини кадру часового інтервалу. За розрахунками, та графічно побудованою залежністю було доказано, що чим ближче значення довжини кадру до кількості тегів, тим більшою є ефективність системи. Також було розроблено детальну блок-схему протоколу ПКМ.

РОЗДІЛ 5. ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ

У цьому розділі ми використовуємо симулятор Matlab для оцінки запропонованого нами антиколізійного протоколу (ПКМ).

5.1. Сценарій моделювання

Щоб імітувати ефективність запропонованого протоколу ПКМ, ми припускаємо сценарій моделювання таким:

- Під частотою каналу зчитувача розуміється діапазон від 860 МГц до 960 МГц, в якому частота каналу управління становить 930 МГц. Потужність передачів зчитувачів становить -45 дБм. Дальність зчитування БПЛА становить 200 метрів. Дані передаються між зчитувачами та тегами зі швидкістю 2 Мбіт / с. Для кращого відображення функцій нашого протоколу він усуне деякий непотрібний ефект, такий як перешкоди між двома каналами, втрата та зникнення шляху тощо. Зіткнення тегів є єдиною причиною, яка призводить до втрати пакетів.

- Поле імітації - це область 100 м × 100 м, в якій частоти міток становлять 900 МГц, 1350 МГц та 1800 МГц. Крім того, кількість міток становить від 0 до 600 і рівномірно розподіляється в межах області.

Ми проведемо моделювання 100 разів у різних випадках, потім обчислимо середнє з них.

5.2. Результати моделювання та аналізу

У цьому розділі ми порівнюємо протокол ПКМ з деякими класичними алгоритмами маршрутизації з різною кількістю тегів. У нашому моделюванні ми розглядаємо два типи міток: одночастотні та багаточастотні.

5.2.1. Вплив різних частот міток на роботу протоколу

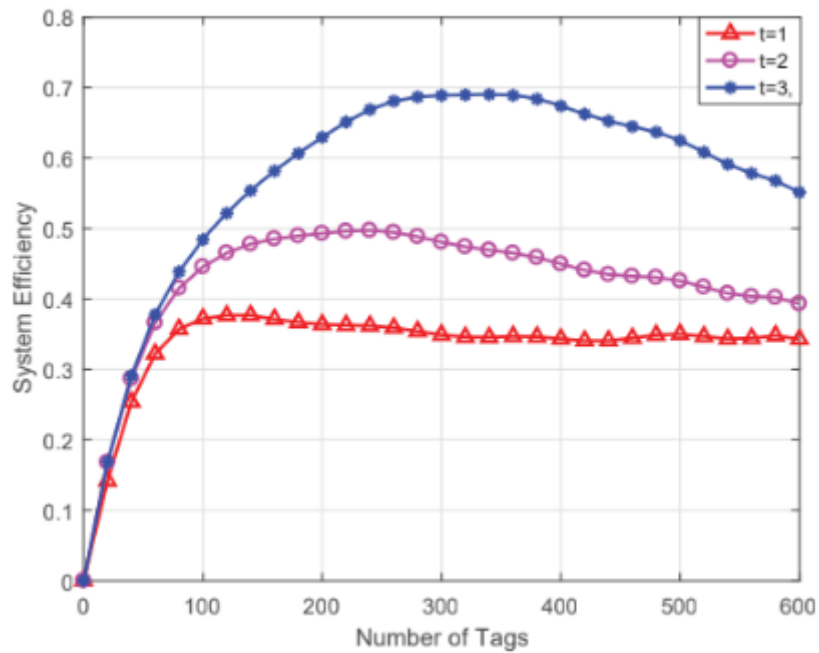


Рис. 5.1. Ефективність системи порівняно з кількістю частот тегів

Рисунок 5.1 показує, що ефективність системи всіх алгоритмів зростає із збільшенням кількості частот тегів. Причина в тому, що чим більше частот тегів, тим більше шансів їх ідентифікувати. Однак, оскільки частота мітки обмежена вартістю зчитувача та складністю зчитування, частота не може бути занадто великою. Крім того, коли кількість міток менше 100, системна ефективність трьох алгоритмів є близькою. Причина полягає в тому, що коли щільність мітки мала, ймовірність виникнення колізій зменшується. Для зменшення витрат ми можемо використовувати одночастотні мітки для їх ідентифікації на даний момент.

5.2.2 Вплив різної довжини кадру зчитувача на роботу протоколу

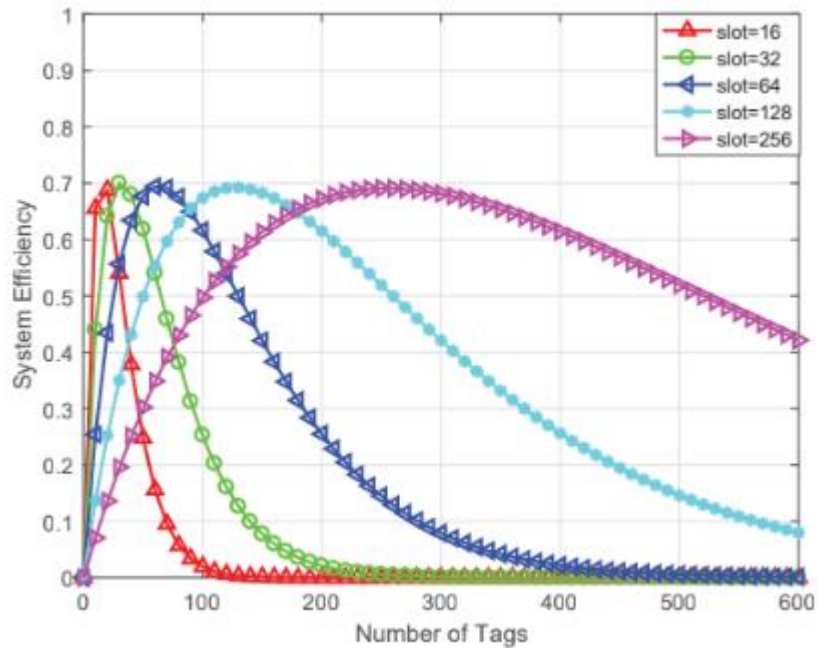


Рис. 5.2. Ефективність системи проти зчитувача різної довжини кадру

З рис. 5.2, коли $t = 3$, ми бачимо, що зі збільшенням довжини кадру зчитувача ефективність системи ПКМ зростає. Коли довжина кадру зчитувача дорівнює кількості міток, система RFID є найбільш ефективною. На даний момент максимальна ефективність нашої системи алгоритмів може досягати 69,1%, що значно покращить ефективність порівняно з існуючими відповідними алгоритмами.

5.2.3 Вплив різної кількості тегів на роботу протоколу

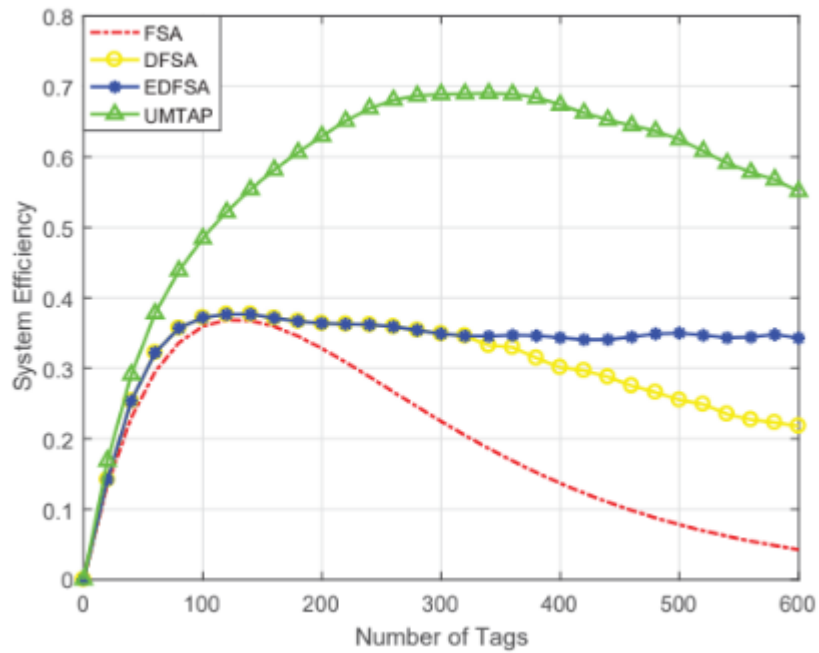


Рис.5.3. Ефективність системи порівняно з кількістю тегів

Рисунок 5.3 показує ефективність системи шляхом порівняння UMTAP з трьома алгоритмами, включаючи FSA, DFSA та EDFSA. Як і слід було очікувати, ефективність системи всіх алгоритмів спочатку зростає, а потім зменшується із збільшенням кількості тегів. Оскільки із збільшенням кількості тегів читач може читати більше тегів у межах діапазону зв'язку. Однак, коли кількість тегів перевищує оптимальну довжину кадру, часовий інтервал зіткнення збільшується, і зчитувач не може розпізнати неідентифіковані теги. У ПКМ, оскільки для ідентифікації використовуються багаточастотні мітки, теги різних частот можуть бути ідентифіковані в одному часовому інтервалі.

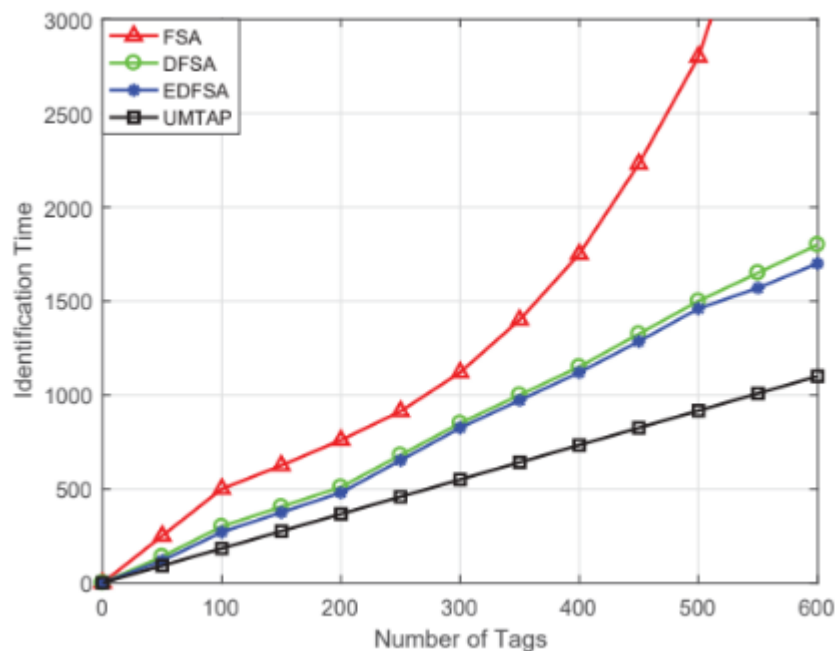


Рис. 5.4. Відношення часу ідентифікації до кількості тегів

На рис. 5.4, оскільки довжина кадру FSA фіксована, кількість необхідних слотів буде збільшуватися експоненціально із збільшенням кількості тегів. Кількість слотів, необхідних DFSA, така ж, як і EDFSA, оскільки довжина кадру двох алгоритмів може зрости лише до максимального значення 256. По мірі збільшення кількості міток час інтервалу колізій значно збільшиться, і ефективність системи швидко падатиме. Крім того, ефективність EDFSA дещо більша для DFSA. Алгоритм має функцію групування міток, яка зменшує кількість міток, визначених групуванням, і може регулювати довжину кадру всередині групи. Загальна кількість часових інтервалів, необхідних для ПКМ, є найменшою, оскільки вона використовує оптимізований розмір кроку відповідно до групування, а довжина кадру динамічно регулюється з урахуванням кількості тегів у групі, щоб забезпечити високу ефективність ідентифікації системи в групі. Крім того, для розпізнавання використовуються багатоатрибутні теги, які можуть ідентифікувати більше тегів і зменшити часові інтервали зіткнень.

5.3 Висновок до розділу

Результати моделювання показують, що схема MFPR має кращу продуктивність, ніж інші протоколи, що є результатом вдосконалення прийняття рішень за протоколом проти зіткнень. Виконуючи оцінку міток та використовуючи багаточастотні мітки, MFPR може зменшити часові інтервали зіткнення. Таким чином, MFPR досягає поліпшення продуктивності з точки зору ефективності системи та часу ідентифікації.

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день бурхливий розвиток Інтернету речей (IoT) дозволяє широко використовувати радіочастотну ідентифікацію (RFID) для ідентифікації, розміщення, відстеження та моніторингу доменів речей. Однак у щільному середовищі RFID, оскільки всі теги мають один і той же бездротовий канал, зіткнення тегів відбуватиметься, коли кілька тегів реагують на один і той же зчитувач. Це викликає необхідність розробки нових протоколів протидії колізій, які зможуть зменшити ймовірність виникнення колізій та забезпечити більшу ефективність системи.

В ході виконання дипломної роботи було розроблено тривимірну модель системи RFID на основі БПЛА.

Також в ході дипломної роботи було розроблено новий алгоритм боротьби із колізіями для IoT, на основі якого запропоновано протокол протидії колізії множини тегів на базі БПЛА (ПКМ).

Протокол ПКМ використовує теги на різних частотах для підключення до зчитувача, щоб зменшити часовий інтервал зіткнення. Одночасно ПКМ може досягти оптимальної ефективності системи, оцінюючи кількість тегів та динамічно регулюючи довжину кадру.

Показано, що використання ПКМ дозволяє охопити ширший спектр комунікацій та зменшити потребу в налаштуванні зчитувачів.

Отримані результати моделювання підтверджують, що в порівнянні з традиційним протоколом боротьби із колізіями в IoT ПКМ забезпечує значне покращення продуктивності системи та часу ідентифікації.

Результати моделювання характеристик успішного слоту E_s , порожнього слоту S_s , слоту зчитувача C_s від довжини кадру часового інтервалу L при незмінній кількості тегів ($N=10$) показали, що величина S_s плавно зростає зі збільшенням L , величина E_s на початку досить стрімко зростає зі збільшенням L , величина C_s досить стрімко зростає при наближенні значення L до значення обраної кількості тегів.

Із проведених розрахунків ефективності даної системи за умови незмінної в процесі розрахунку кількості тегів, та змінної довжини кадру часового інтервалу показали, що чим ближче значення довжини кадру до кількості тегів, тим більшою є ефективність системи.

Основні результати роботи доповідались на конференції "Перспективи телекомунікацій" 2021 [64].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. M. Frustaci, P. Pace, G. Aloï, and G. Fortino, "Evaluating critical security issues of the iot world: Present and future challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 2483–2495, Aug. 2018.
2. X. Jia, M. Bolic, Y. Feng, and Y. Gu, "An efficient dynamic anti-collision protocol for mobile rfid tags identification," *IEEE Communications Letters*, vol. 23, no. 4, pp. 620–623, Apr. 2019.
3. J. Su, Z. Sheng, L. Xie, G. Li, and A. X. Liu, "Fast splitting-based tag identification algorithm for anti-collision in uhf rfid system," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 67, no. 3, pp. 2527–2538, Mar.2019.
4. Ding Z G. Research and Implementation of RFID Key Technologies[D].BEIJING: University of Science and Technology of China,2009:20-21.
5. H. Wang, S. Pang, H. Zhang, and Q. Huang, "Aloha based anti-collision algorithm for rfid tag identification under capture environment," pp. 117–121, Aug. 2018.
6. D. T. C. Wong, Q. Chen, X. Peng, and F. Chin, "Multi-channel pure collective aloha mac protocol with decollision algorithm for satellite uplink," in *2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, Feb. 2018, pp. 251–256.
7. Y. H. Bae, "Modeling timely-delivery ratio of slotted aloha with energy harvesting," *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 8, pp. 1823–1826, Aug. 2017.
8. G. Interdonato, S. Pfletschinger, F. Vazquez-Gallego, J. Alonso-Zarate, and G. Araniti, "Intra-slot interference cancellation for collision resolution in irregular repetition slotted aloha," pp. 2069–2074, Jun. 2015.

9. P. A, A. R, and M. C. B, "Forward search approach using power search algorithm (fsa-psa) to solve dynamic economic load dispatch problems," pp. 1139–1142, Mar. 2019.
10. H. Vogt, "Efficient object identification with passive RFID tags," in *Pervasive Computing: First International Conference, Pervasive 2002 Zurich, Switzerland, August 26–28, 2002 Proceedings*, vol. 2414 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 98–113, Springer, Berlin, Germany, 2002.
11. H. Vogt, "Multiple object identification with passive RFID tags," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC '02)*, Hammamet, Tunisia, October 2002.
12. H. Vogt, "Efficient object identification with passive RFID tags," in *Pervasive Computing*, vol. 2414 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 98–113, Springer, Berlin, Germany, 2002.
13. H. Huo, J. Q. Liu, and Y. J. Wang, "Flood diversion algorithm for anticollision in RFID system," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2015, Article ID 245914, 11 pages, 2015.
14. L. Jia and Z. Youguang, "The analysis of anti-collision algorithm based on timeslot in RFID system," in *Communication and Network*, 2006.
15. W.-T. Chen, "An accurate tag estimate method for improving the performance of an RFID anticollision algorithm based on dynamic frame length ALOHA," *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 9-15, 2009.
16. J. Vales-Alonso, V. Bueno-Delgado, E. Egea-Lopez, et al., "Multiframe maximum-likelihood tag estimation for RFID anticollision protocols," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 7, no. 3, pp. 487-496, 2011
17. L. Arjona, H. Landaluce, A. Perallos, and E. Onieva, "Fast fuzzy anticollision protocol for the RFID standard EPC Gen-2," *Electron. Lett.*, vol. 52, no. 8, pp. 663-665, 2016.
18. J. Shin, B. Jeon, and D. Yang, "Multiple RFID tags identification with Mary query tree scheme," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 3, pp. 604-607, 2013.

19. X. Jia, Q. Feng, and L. Yu, "Stability analysis of an efficient anti-collision protocol for RFID tag identification," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 68, no. 6, pp. 2285-2293, 2012.
20. H. Landaluce, A. Perallos, E. Onieva, L. Arjona, and L. Bengtsson, "An energy and identification time decreasing procedure for memoryless RFID tag anticollision protocols," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 6, pp. 4234-4247, 2016.
21. J. Myung, W. Lee, and J. Srivastava, "Adaptive binary splitting for efficient RFID tag anti-collision," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 10, no. 3, pp. 144-146, 2006.
22. Y. Cui and Y. Zhao, "Performance evaluation of a multi-branch tree algorithm in RFID," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, no. 5, pp. 1356-1364, 2010.
23. Y. H. Chen, S. J. Horng, R. S. Run, et al., "A novel anti-collision algorithm in RFID systems for identifying passive tags," *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 6, no. 1, pp. 105-121, 2010.
24. C. Angerer, R. Langwieser, and M. Rupp, "RFID reader receives for physical layer collision recovery," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, no. 12, pp. 3526-3537, 2010.
25. J. Su, Z. Sheng, D. Hong, and G. Wen, "An effective breaking policy for dynamic framed slotted aloha in RFID," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 4, pp. 692-695, 2016.
26. Y. Lai, L. Hsiao, and B. Lin, "Optimal slot assignment for binary tracking tree protocol in RFID tag identification," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 23, no. 1, pp. 255-268, 2015.
27. P. Solic, J. Radic, and N. Rozic, "Energy efficient tag estimation method for Aloha-based RFID systems," *IEEE Sensors J.*, vol. 14, no. 10, pp. 3637-3647, 2014.
28. W.-T. Chen, "Optimal frame length analysis and an efficient anticollision algorithm with early adjustment of frame length for RFID systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 5, pp. 3342-3348, 2016.

29. J. Su, X. Zhao, D. Hong, Z. Luo, and H. Chen, "Q-value fine-grained adjustment based RFID anti-collision algorithm," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E99-B, no. 7, pp. 1593-1598, 2016.
30. C. Qian, Y. Liu, R. H. Ngan, and L. M. Ni, "ASAP: Scalable collision arbitration for large RFID systems," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 24, no. 7, pp. 1277-1288, Jul. 2013.
31. L. Zhang, J. Zhang, and X. Tang, "Assigned tree slotted Aloha RFID tag anti-collision protocols," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 6, pp. 5493-5505, 2013.
32. I. Bratuz, A. Vodopivec, and A. Trost, "Resolving collision in EPCglobal Class-1 Gen-2 system by utilizing the preamble," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 13, no. 10, pp. 5330-5339, 2014.
33. Z. Shi, J. Chen, S. Chen, and S. Ren, "A lightweight rfid authentication protocol with confidentiality and anonymity," pp. 1631–1634, Mar. 2017.
34. A. Li and W. Yang, "Dynamic frame slotted aloha algorithm based on improved tag estimation," vol. 01, pp. 328–331, Aug. 2018.
35. T. Elshabrawy, E. Shereen, and M. Ashour, "Throughput evaluation of dynamic frame slotted aloha for spatially distributed rfid tags," pp. 1–5, Sep. 2016.
36. P. Soli ´ c, J. Radi ´ c, and N. Ro ´ zi ´ c, "Early frame break policy for aloha-based rfid systems," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 876–881, Apr. 2016.
37. S. Nappi, N. D’Uva, S. Amendola, C. Occhiuzzi, and G. Marrocco, "A near-field rfid sensor network for the realtime monitoring of tire vulcanization," pp. 69–73, Sep. 2017.
38. Y. Gao, X. Gao, X. Yang, J. Liu, and G. Chen, "An efficient ring-based metadata management policy for large-scale distributed file systems," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 30, no. 9, pp. 1962–1974, Sep. 2019.

39. J. K. Pakkathillam, M. Kanagasabai, and M. G. N. Alsath, "Compact multiservice uhf rfid reader antenna for near-field and far-field operations," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp.149–152, 2017.

40. Тимочко О.І., Голубничий Д.Ю., Третяк В.Ф. & Рубан І.В. (2007). Класифікація безпілотних літальних апаратів. Системи озброєння і військова техніка. (1/9), 61-67.

41. Jean-Paul Yaacoub, Hassan Noura, Ola Salman & Ali Chehab (2020). Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations. Elsevier Public Health Emergency Collection. Вилучено із <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7206421/>.

42. Knysh B.P., Brovko P.V. & Popil D.S. (2017). The classification of the certain types of the unmanned aerial vehicles. *Modern engineering and innovative technologies*. (2/1), 34-39. <https://doi.org/10.21893/2567-5273.2017-02-01-004>.

43. Капуста А.І. (2019). Нелінійна стохастична фільтрація звукових сигналів безпілотних літальних апаратів. Харків: ХНУРЕ.

44. Як безпілотники використовуються у точному землеробстві. (2015). ParaGraf.ru. Вилучено із <https://www.paragraf.ru/post/2015/11/01/paragrafru-kak-bespiлотники-ispolьzуютсяв-точном-земледелии>.

45. Аерофотозйомка за допомогою БЛА (БПЛА). (2019). Банкомзв'язок. Вилучено із <https://www.bkc.com.ua/news-type/aerofotozjomka-za-dopomogoju-bla-bpla/>.

46. Богдан Малиновский.(2017). Про що розповість аерофотозйомка сільгоспугідь, зроблена за допомогою дрона? Пропозиція. Вилучено із <https://propozitsiya.com/ua/o-chemrasskazhet-aerofotosemka-selhozugodiy-sdelannaya-s-pomoshchyu-drona>.

47. Дрони для геодезичної зйомки. (2019). pervo.ru. Вилучено із <https://www.pervo.ru/news/hi-tech/48069-drony-dlja-geodezicheskoj-semki.html>.

48. По Ольга (2020). Все, що вам необхідно знати про геодезичні дослідження з допомогою дронів. dji BLOG. Вилучено із <https://dji->

blog.ru/naznachenie/geodesia/vse-chtovam-neobhodimo-znat-o-geodezicheskikh-issledovaniyah-s-pomoshhju-dronov.html.

49. Костин А.С. (2019). Класифікація цивільних безпілотних літальних апаратів та сфери їх використання. Системний аналіз та логістика. (19), 70-80.

50. ДТЕК Мережі запусив проект моніторинга електросетей безпілотниками. (2020). Крила. Вилучено із <http://www.wing.com.ua/content/view/26533/90/>.

51. Using Drones to Control Forest Fires. (2015). dronelife. Вилучено із <https://dronelife.com/2015/06/11/using-drones-to-control-forest-fires/>.

52. Моніторинг лісових пожеж з БПЛА. (2019). Альбатрос. Вилучено із <https://www.alb.aero/about/articles/monitoring-lesnykh-pozharov-s-bpla/>.

53. Адміністрація Державної прикордонної служби України. (2020). Прикордонники придбали сучасні квадрокоптери. Урядовий портал. Вилучено із <https://www.kmu.gov.ua/news/prikordonniki-pridbali-suchasni-kvadrokopteri>.

54. Megan Geuss. (2015). Illinois State Police will fly “unmanned aircraft” not “drones”. ARSTECHNICA. Вилучено із https://arstechnica.com/tech-policy/2015/05/illinois-statepolice-will-fly-unmanned-aircraft-not-drones/?utm_source=ixbtcom.

55. Александр. (2020). Доставка вантажів дронами. com-stil.com. Вилучено із <https://comstil.com/vse-stati/dostavka-gruzov-dronami>.

56. Рятувальні операції. (2016). DRONARIUM. Вилучено із <https://www.dronarium.com.ua/uslugi/spasatelnye-operacii/>.

57. Микола Воронцов. (2016). Безпілотник допоможе рятувальникам шукати альпіністів у тріщинах. Вилучено із <https://nplus1.ru/news/2016/01/21/gimball-crevasse>.

58. Літаючі офіціанти в ресторанах Сингапуру. (2015). Art Travel blog. Вилучено із <https://arttravelblog.ru/interesnoe/letayushhie-oficianty-v-restoranax-singapura.html>.

59. Михайло Года. (2020). Google запустив гігантський дрон для роздачі інтернету. ТЕХНО24. Вилучено із https://tech.24tv.ua/ru/google-zapustil-gigantskij-dron-dlja-razdachi-novostitehnologij_n1433635.

60. Дрони-рятувальники: чи чекати в промисловості? (2018). ГЕТСИЗ.РУ. Вилучено із <https://getsiz.ru/drony-spasateli-zhdat-li-v-promyshlennosti.html>.

61. L. Zhang, W. Xiang, X. Tang, Q. Li, and Q. Yan, “A time- and energy-aware collision tree protocol for efficient large-scale rfid tag identification,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 14, no. 6, pp. 2406–2417, Jun. 2018.

62. <https://www.tutorialspoint.com/pure-aloha>

63. <https://enerhodzherela.com.ua/analitika/%D0%B2-%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D1%96-%D1%96%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9>

64. Нагорна, М. М. , Кравчук, С. О. ПРОТОКОЛ ЗАПОБІГАННЯ КОЛІЗІЙ В МЕРЕЖІ ІоТ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ» (2021). – С. 195–198 (<http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/230710>).