

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, проф.

_____ В.Ю. Ларін

«___» _____ 2023 р

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«БЕЗПІЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ»**

Тема : «Задача узгодження взаємодії каналів передачі даних (data link) із цифровими датчиками (digital sensors) корисного навантаження БАК (UAV)»

Виконав: _____ **Сусідка В. В.**

Керівник: _____ **Погурельський О. С.**

Нормоконтролер:

Київ 2023
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аеронавігаційних систем

Навчальний ступінь «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма «Безпілотні авіаційні комплекси»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д-р техн. наук, професор

_____ В. Ю. Ларін

« ___ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Сусідки Володимира Васильовича

1. Тема дипломної роботи: **«Задача узгодження взаємодії каналів передачі даних (data link) із цифровими датчиками (digital sensors) корисного навантаження БАК (UAV)»**

2. Термін виконання проекту:

3. Вихідні дані до проекту: теоретичні дані керівних документів Міжнародної організації цивільної авіації та національних документів України у сфері забезпечення та виконання польотів цивільних повітряних суден.

4. Пояснювальна записка містить аналіз проблем та викликів, пов'язаних з ефективною і надійною передачею даних від цифрових датчиків у БАК, визначення основних методів дослідження, таких як аналіз літератури, експериментальні дослідження, моделювання та симуляція, математичне моделювання, системний аналіз та статистичний аналіз, а також висновки та рекомендації щодо покращення взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК (UAV).

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: ___ рисунків, ___ таблиць.

6. Календарний план-графік

Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
Підготовка та написання 1 розділу	01.09.23 – 1.10.23	Виконано
Підготовка та написання 2 розділу	02.10.23 – 10.10.23	Виконано
Підготовка та написання 3 розділу	11.10.23 – 31.10.23	Виконано
Підготовка та написання 4 розділу	01.11.23 – 30.11.23	Виконано
Оформлення пояснювальної записки та ілюстрованого матеріалу	01.12.23 – 07.12.23	Виконано
Попередній захист дипломної роботи	13.12.23 – 15.12.23	Виконано

Дата видачі завдання: «19» вересня 2023 року

Керівник дипломної роботи: _____ Погурельський Олексій Сергійович

Завдання прийняв до виконання _____ Сусідка Володимир Васильович

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Задача узгодження взаємодії каналів передачі даних (data link) із цифровими датчиками (digital sensors) корисного навантаження БАК (UAV)» містить __ сторінок, __ рисунків, __ таблиць, __ використаних джерела.

Об'єкт дослідження: Досліджуються аспекти передачі даних від цифрових датчиків до приймачів на землі або інших приймачів. Аналізуються вибір каналів передачі, компресія даних, протоколи передачі та управління каналами. Мета полягає в ефективній та надійній передачі даних для успішної роботи БАК/UAV.

Предмет дослідження: Процедури застосування БАК для покращення корисного навантаження БАК

Мета роботи: Забезпечення ефективної передачі даних з цифрових датчиків БАК/UAV для успішної роботи та використання отриманих даних.

Методи дослідження: Методи дослідження задачі узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження БАК (UAV) включають аналіз літератури та наукових джерел, проведення експериментів на реальних або симульованих системах, моделювання та симуляцію, математичне моделювання, системний аналіз та статистичний аналіз.

АРКУШ ЗАУВАЖЕНЬ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	..6

РОЗДІЛ 1. ТЕХНІЧНЕ ОПИС КОРИСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БАК.....15

1.1. Огляд основних характеристик і функцій корисного навантаження БАК, які вимагають передачі даних з цифрових датчиків.....	15
1.2. Визначення особливостей та вимог до каналів передачі даних, що пов'язані з корисним навантаженням БАК.....	23
1.3. Висновок до розділу 1.....	32

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПРОТОКОЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ.....35

2.1. Дослідження різних протоколів передачі даних, які використовуються в безпілотних системах із використанням STANAG.....	37
2.2. Визначення переваг та обмежень різних протоколів з точки зору узгодження взаємодії з цифровими датчиками корисного навантаження БАК.....	43
2.3. Стандартизація та міжнародні норми в області протоколів передачі даних для безпілотних систем.....	52
2.4. Висновок до розділу 2.....	58

РОЗДІЛ 3. УЗГОДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ІЗ ЦИФРОВИМИ ДАТЧИКАМИ.....61

3.1. Загальні принципи узгодження забезпечення ефективності передачі інформації, забезпечення надійності передачі інформації.....	63
3.2. Критерії ефективності узгодження пропускну здатність каналу передачі даних, затримка передачі інформації, надійність передачі інформації, безпека передачі інформації.....	67

3.3. Методи узгодження статичні методи, динамічні методи, адаптивні методи.....	73
---	----

3.4. Висновок до розділу	77
--------------------------	----

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ УЗГОДЖЕННЯ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З ЦИФРОВИМИ ДАТЧИКАМИ КОРИСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БАК (UAV) ЗГІДНО ЗІ СТАНДАРТОМ STANAG 4609.....80

4.1. Аналіз вимог та рекомендацій STANAG 4609 для передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК.....	80
--	----

4.2. Тестування розроблених алгоритмів на симуляторах або реальних безпілотних системах, сумісних з STANAG 4609.....	85
--	----

4.3. Висновок до розділу	90
--------------------------	----

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ..... 91

5.1. Проведення експерименту для перевірки ефективності розроблених алгоритмів та методів узгодження.....	94
---	----

5.2. Збір та аналіз даних, порівняння результатів з вимогами та рекомендаціями структури STANAG.....	96
--	----

5.3. Висновок до розділу	101
--------------------------	-----

ЗАГАЛЬНИЙ	ВИСНОВОК
.....
103	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	110
--	------------

Перелік умовних позначень

1. **UAV**: Безпілотний літальний апарат (Unmanned Aerial Vehicle).
2. **БАК**: Безпілотний літальний апарат (БЛА) з корисним навантаженням (БАК) (Unmanned Aerial Vehicle with Payload).
3. **Data link**: Канали передачі даних між БАК та земною станцією (Data link).
4. **Цифрові датчики**: Електронні пристрої для збору даних з навколишнього середовища (Digital sensors).
5. **Корисне навантаження**: Обладнання або пристрої, що використовуються на БАК для виконання певних завдань (Payload).
6. **STANAG**: Стандарт Альянсу північноатлантичного договору (NATO Standardization Agreement).
7. **STANAG 4609**: Стандарт, що встановлює вимоги до формату передачі та обробки цифрових даних з корисного навантаження БАК (NATO STANAG 4609).
8. **STANAG 7023**: Стандарт, що визначає вимоги до систем передачі даних та керування БАК (NATO STANAG 7023).
9. **STANAG 4545**: Стандарт, що визначає структуру та протоколи для обміну даними між системами передачі даних (NATO STANAG 4545).
10. **STANAG 4607**: Стандарт, що встановлює вимоги до систем передачі зображень та відео на БАК (NATO STANAG 4607).
11. **STANAG 4575**: Стандарт, що визначає вимоги до безпеки та захисту інформації на БАК (NATO STANAG 4575).
12. **STANAG 7085**: Стандарт, що визначає протоколи та процедури для мережі передачі даних на БАК (NATO STANAG 7085).

13. **UAV**: Безпілотний літальний апарат (Unmanned Aerial Vehicle).
14. **ДПС**: Дані про стан системи передачі даних (Data link State).
15. **МДП**: Механізми динамічного призначення передавачів (Multiple Data Pathways).
16. **ПСД**: Протоколи синхронізації даних (Protocol for Data Synchronization).
17. **ПВС**: Протоколи відновлення даних (Protocol for Data Recovery).

Вступ

Обґрунтування актуальності теми

Задача узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження на борту безпілотних літальних апаратів (БАК/UAV) має велике значення для забезпечення ефективності та надійності роботи цих систем. У зв'язку зі зростанням застосування БАК/UAV у різних галузях, таких як військове застосування, геодезія, розвідка та навколишнє середовище, виникає потреба у розробці стандартів і методів, що забезпечують оптимальну взаємодію між каналами передачі даних та цифровими датчиками. [1]

Один із таких стандартів, який використовується в військовому контексті та сприяє стандартизації взаємоповідомлення між військовими силами, є STANAG. STANAG (Standardization Agreement) - це набір стандартів, розроблених та ухвалених НАТО, які визначають вимоги та процедури для різних аспектів військового обладнання та систем.

В рамках дослідження теми "Задача узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV" метою даної дипломної роботи є аналіз та проаналіз стандарту STANAG, зосереджуючись на його застосуванні в контексті взаємодії каналів передачі даних та цифрових датчиків на борту БАК/UAV. Основними завданнями дослідження є вивчення архітектури, протоколів та вимог, встановлених у стандарті STANAG 7085, а також оцінка ефективності та надійності цих методів у контексті задачі узгодження взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками.[2]

Канал передачі даних - це шлях, за допомогою якого БПЛА спілкується з наземною станцією та оператором, а також як оператор надсилає команди БПЛА для управління його місією, оцінки мінливих векторів загрози, навігації, реагування на місцевість та атмосферні умови під час місії та реагування на них, а також контролю збору розвідувальної інформації та у військових застосуваннях, доставка корисного навантаження.

Всі основні функції, необхідні для системи зв'язку UAS Data-Link:

- Наземна станція, з якої оператор може спілкуватися по радіо вгору, що дозволяє оператору керувати БПЛА, з точки зору навігації та розгортання корисного навантаження.
 - Низхідна лінія, яка використовується для передачі даних датчиків, корисного навантаження та авіоніки з БПЛА назад на наземну станцію та оператору БПЛА.
 - Двонаправлений зв'язок щодо відстані та азимута з БПЛА для забезпечення точної навігації та точності наведення (Fahlstrom, 2012).
- [3]

Кілька речей, які слід згадати щодо конкретних радіочастот, які зазвичай використовуються в системі каналів передачі даних. Найпопулярнішими з цих частот є:

- **900 МГц** – здатний проникати крізь перешкоди, дуже вузька смуга має обмежену максимальну швидкість передачі даних
- **3 ГГц** – здатність долати перешкоди, обмежена максимальна швидкість передачі даних
- **4 ГГц** - Найбільш широко використовувана частота і може стати переповненою

- **8 ГГц** - найкоротший діапазон, має велику максимальну швидкість передачі даних

Кожен з цих радіодіапазонів має своє спільне використання залежно від того, на що вони здатні щодо дальності та проникнення. [4]

Загальний канал передачі даних (CDL)

Зв'язок із загальними даними (CDL) є ранньою версією системи передачі даних БПЛА, яка складається з безпечної, стійкої до застрягання висхідний канал (з поверхні-до-air link), що працює зі швидкістю 200 кбіт/с і низхідною лінією (з повітря-до-поверхня посилення) чат може працювати зі швидкістю 10,71, 137 або 274 Мбіт/с (наразі лише перша з цих швидкостей низхідного зв'язку безпечний). Сімейні зв'язки CDL використовуються для досягнення як LOS, так і за допомогою ретрансляції за межами LOS (BLOS). CDL дозволяє дистанційне керування та експлуатацію датчиків, що перевозяться платформами, обладнаними CDL від BLOS локації через супутник. США визначили Common Data Link (CDL) як стандарт для використання в зображеннях і Радіорозвідка в 1991 році. [5]

Корисне навантаження – це вага, яку може нести БПЛА, наприклад, вага камери, упаковки, датчиків або будь-якого вантажу, який він повинен нести. Час польоту БПЛА обернено пов'язане з корисним навантаженням. Оскільки корисне навантаження збільшується, БПЛА повинен використовувати більше енергії акумулятора, щоб підняти його. Час польоту БПЛА з важким корисним навантаженням порівняно менший за час польоту БПЛА меншої ваги. Однак більший БПЛА, оснащений акумуляторами, може краще справлятися з важкими корисними навантаженнями. Як правило, система БПЛА складається з літального засобу, системи управління відстеженням, наземної станції управління та системи поширення даних. БПЛА включає корисне навантаження, джерело живлення, обладнання авіоніки, джерело силових установок та обладнання для передачі даних. Напрямок польоту, швидкість і висота регулюються обладнанням авіоніки.

БПЛА можуть працювати від акумулятора або працювати від двигуна. Менші БПЛА використовуються для збору даних у режимі реального часу та майже в режимі реального часу, оскільки бортова обробка в таких БПЛА обмежена. Транспортні засоби БПЛА включають канал передачі даних управління та канал передачі даних про корисне навантаження. Канал управління даними обробляє телеметричні дані автомобіля та сигнали для управління транспортним засобом. Канал передачі даних корисного навантаження обробляє дані від БПЛА до користувача для обробки даних. [6]

На основі отриманих результатів дослідження будуть запропоновані рекомендації щодо поліпшення узгодження та оптимізації взаємодії між каналами передачі даних та цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV, що може сприяти покращенню продуктивності та надійності використання цих систем у різних сферах застосування.

Таким чином, дана дипломна робота спрямована на детальне дослідження та проаналіз стандарту STANAG з метою забезпечення ефективної взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV. Це дозволить вирішити проблеми, пов'язані з узгодженням та оптимізацією використання цих систем, і сприятиме подальшому розвитку та вдосконаленню безпілотних літальних апаратів.

Мета та завдання дослідження

Мета дослідження:

Вивчення принципів та методів узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження БАК (UAV) відповідно до вимог та рекомендацій стандарту STANAG 7085. Головною метою є розробка ефективних алгоритмів та протоколів, що забезпечать надійну та оптимальну передачу даних в системах БАК, забезпечуючи високу якість отриманих вимірів та зменшуючи вплив шуму та спотворень на передачу даних.

Завдання дослідження:

1. Вивчити основні аспекти стандартів STANAG, включаючи їх архітектуру, протоколи та вимоги, пов'язані з узгодженням взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV.
2. Проаналізувати застосування стандарту STANAG 7085 у контексті взаємодії каналів передачі даних та цифрових датчиків на борту БАК/UAV.
3. Оцінити ефективність та надійність використання стандартів STANAG
4. Порівняти стандарти STANAG, використовуваними в цій сфері, з метою визначення його конкурентних переваг або областей для подальшого вдосконалення.

Методологія дослідження

Методологія дослідження на тему «Задача узгодження взаємодії каналів передачі даних (data link) із цифровими датчиками (digital sensors) корисного навантаження БАК (UAV)» складатиметься з наступних етапів:

1. Літературний огляд:

- Перед початком дослідження проведеться докладний аналіз наукових джерел, публікацій, стандартів та інших джерел, що стосуються взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV.

- Особлива увага буде приділена стандарту STANAG 7085 та його застосуванню в даній сфері.

2. Аналіз стандарту STANAG 7085:

- Детальне вивчення стандарту, включаючи архітектуру, протоколи та вимоги, що стосуються узгодження взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками.

- Розкриття ключових характеристик, можливостей та обмежень стандарту.

3. Емпіричні дослідження:

- Розробка та проведення експериментів для оцінки ефективності та надійності взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV з використанням стандартів STANAG.

- Збір та аналіз даних, включаючи параметри передачі даних, часові затримки та пропускну здатність, що впливають на якість взаємодії систем.

4. Порівняння та аналіз результатів:

- Порівняння отриманих результатів з очікуваними вимогами та цілями дослідження.

- Аналіз ефективності та надійності взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV з використанням стандартів STANAG.

5. Визначення вимог і цілей:

- Уточнення основних вимог та цілей дослідження, включаючи точні параметри взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV, такі як пропускна здатність, стійкість до шумів та перешкод, швидкість передачі даних тощо.

6. Висновки та рекомендації:

- Формулювання висновків, які відображають результати дослідження та відповідають на поставлені завдання.

- Надання рекомендацій щодо використання стандартів STANAG для узгодження взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV, а також вказівки щодо можливих напрямків подальшого дослідження та вдосконалення даної області.

Теоретичні відомості

У рамках дослідження задачі узгодження взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV, необхідно розглянути наступні теоретичні відомості:

- Канали передачі даних: Дослідження різних типів каналів передачі даних, які можуть використовуватися в системах БАК/UAV, включаючи провідні, бездротові та оптичні канали. Розгляд аспектів пропускнуої здатності, шумів, перешкод та інших параметрів, які впливають на якість передачі даних.

- Цифрові датчики: Вивчення принципів роботи цифрових датчиків, їхніх характеристик та можливостей. Розгляд різних типів датчиків, таких як температурні, вологості, тиску тощо, і їхнє застосування в корисному навантаженні БАК/UAV.

- Протоколи передачі даних: Вивчення різних протоколів передачі даних, які використовуються для забезпечення комунікації між цифровими датчиками та системою БАК/UAV. Розгляд протоколів таких як TCP/IP, MQTT, Zigbee, LoRa і їхніх особливостей, включаючи механізми контролю помилок, шифрування та інших заходів безпеки.

- Стандарт STANAG 7085: Детальне вивчення стандарту STANAG 7085, який встановлює вимоги та протоколи для взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV. Розгляд архітектури, режимів роботи та особливостей стандарту, які впливають на узгодження взаємодії каналів та передачу даних.

- Методи узгодження взаємодії: Аналіз різних методів та алгоритмів для узгодження взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками. Вивчення методів мультиплексування, розподілу ресурсів, керування пропускнуою здатністю та пріоритизації даних для забезпечення ефективної та надійної передачі інформації.

□ Аналіз існуючих досліджень: Огляд існуючих наукових робіт, статей та публікацій, що стосуються задачі узгодження взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками у корисному навантаженні БАК/UAV. Аналіз підходів, методів та результатів, що дозволить виявити прогалини та визначити потенційні напрямки для покращення.

□ Розробка експериментальної методики: Розроблення методики для проведення експериментів з метою вивчення взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками у контексті корисного навантаження БАК/UAV. Включення визначення показників ефективності, критеріїв оцінки якості передачі даних та параметрів для порівняння різних методів узгодження.

□ Проведення експериментів: Реалізація експериментальної методики на практиці шляхом виконання ряду експериментів з різними параметрами взаємодії каналів та датчиків. Збір та аналіз отриманих даних, включаючи оцінку продуктивності, швидкості передачі, стійкості до шумів та помилок.

□ Оцінка результатів та порівняння: Аналіз та порівняння отриманих результатів експериментів з використанням розробленої методики. Оцінка ефективності різних методів узгодження та їхнього впливу на якість передачі даних з цифровими датчиками у корисному навантаженні БАК/UAV.

Ці теоретичні відомості нададуть необхідний фундамент для розуміння проблематики узгодження взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК/UAV та допоможуть в подальшому проведенні дослідження та аналізі стандарту STANAG 7085.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНІЧНЕ ОПИС КОРИСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БАК

1.1. Огляд основних характеристик і функцій корисного навантаження БАК, які вимагають передачі даних з цифрових датчиків

Корисне навантаження [Payload]

- повна маса, яка може переноситися чи доставлятися ракетною системою або системою атмосферного БПЛА, що не використовується для підтримання польоту.

Віднесення конкретного обладнання, підсистем або компонентів до “корисного навантаження” залежать від типу і конфігурації даного літального апарата.

Корисне навантаження БАК (безпілотного літального апарату) відноситься до обладнання або систем, які встановлюються на БАК з метою здійснення різноманітних функцій та завдань. Це можуть бути різні типи датчиків, пристроїв збору даних, камери, радіоелектронне обладнання тощо.

Корисне навантаження БАК використовується для збору інформації, здійснення спостережень, виконання вимірювань та передачі даних. Воно дозволяє отримувати важливу інформацію про навколишнє середовище, об'єкти, явища або виконувати конкретні завдання, пов'язані з моніторингом, розвідкою, картографуванням, пошуком та рятуванням, комунікаціями та багатьма іншими.

Корисне навантаження БПЛА може включати наступне обладнання, а саме: відеокамери, обладнання денної і нічної розвідки, РЛС, оптико-електронні, метеорологічні, хімію- біологічні прилади, обладнання зв'язку та навігації, будьяке обладнання, необхідне для виконання польотних завдань БПЛА. Обчислювач польотної інформації використовується для управління БПЛ.

Корисне навантаження може включати різні типи сенсорів, камер, систем навігації, передавачів даних, пристроїв зберігання інформації, систем передачі потоку даних тощо. Його вибір залежить від конкретної мети та завдань БАК, а також від вимог щодо точності, швидкості передачі даних, якості зображення та інших факторів.

Одна з ключових функцій корисного навантаження БАК - передача даних з цифрових датчиків, забезпечення їхньої обробки, аналізу та передачі до земної станції або інших приймачів. Це дозволяє операторам аналізувати інформацію в реальному часі та приймати необхідні рішення на основі зібраних даних.

Приклад: Багатоцільовий гвинтокрилий дрон ІКА-20 розробила та серійно виготовляє сербська компанія PR-DC. Безпілотник має конфігурацію гексакоптера (6 гвинтів) та каркас зі стандартною системою кріплення корисного навантаження. Багатоцільовий гвинтокрилий дрон ІКА-20 розробила та серійно виготовляє сербська компанія PR-DC. Безпілотник має конфігурацію гексакоптера (6 гвинтів) та каркас зі стандартною системою кріплення корисного навантаження. Багатоцільовий гвинтокрилий дрон ІКА-20 (рис. 1) розробила та серійно виготовляє сербська компанія PR-DC. Безпілотник має конфігурацію гексакоптера (6 гвинтів) та каркас зі стандартною системою кріплення корисного навантаження.



Рис. 1. Багатоцільовий гвинтокрилий дрон ІКА-20

Узагальнено кажучи, корисне навантаження БАК - це технологічний комплекс, що включає різноманітні пристрої та системи, спрямовані на забезпечення функціональності БАК та здійснення конкретних завдань зі збору та передачі даних.

Основні характеристики і функції корисного навантаження БАК залежать від конкретного типу БАК та призначення, загальні характеристики та функції включають:

- о Збір даних: Корисне навантаження БАК може включати різні типи сенсорів та датчиків, які здатні збирати дані про навколишнє середовище, такі як температура, вологість, атмосферний тиск, гази, рух, світло тощо. Це дозволяє отримувати важливу інформацію для аналізу та прийняття рішень.

- о Візуальне спостереження: Корисне навантаження може включати високоякісну цифрову камеру або систему багатооб'єктивної камери для збору відео- та фотоматеріалів з повітря. Це дозволяє отримувати детальні зображення для візуального спостереження, моніторингу та розвідки.

- о Геопросторова інформація: Корисне навантаження може мати системи навігації, такі як GPS або інші супутникові системи, що дозволяють визначати точне місцезнаходження БАК. Це важлива функція для картографування, навігації та визначення цілей.

- о Трансляція в реальному часі: Деякі системи корисного навантаження можуть забезпечувати передачу даних у реальному часі до земної станції або інших приймачів. Це дозволяє операторам отримувати актуальну інформацію про поточну ситуацію та приймати необхідні рішення.

- о Зберігання та обробка даних: Корисне навантаження може мати вбудовану

систему зберігання та обробки даних, яка дозволяє зберігати великі обсяги інформації та виконувати обчислювальні операції прямо на борту БАК. Це забезпечує ефективну обробку та аналіз даних безпосередньо в процесі місії.

Основні вимоги за швидкістю передачі даних від бортових сенсорів БПЛА сформульовані в стандарті НАТО STANAG 4609. Характерною рисою стандарту STANAG 4609 є орієнтація на використання комерційних цифрових технологій і устаткування передачі даних з урахуванням специфічних умов військового застосування. Формат передачі даних, що передаються з борту БПЛА, регламентується стандартом STANAG 7023 і керівництвом AEDP - 9, в яких визначені основи технології формування цифрових потоків даних і супроводжуючої інформації від різних бортових датчиків. Вимоги до радіоліній зв'язку БПЛА, сумісних з тактичними засобами, викладені в закритому стандарті STANAG 7085. Інший стандарт, STANAG 4660, регламентує основні вимоги для високозахищеного каналу обміну даними для БПЛА. При цьому основною проблемою у вказаних стандартах є доступність частотного ресурсу. Ситуація ускладнюється очікуваним найближчими роками прийняттям на озброєння великого числа нових типів БПЛА, обладнаних датчиками з високою роздільною здатністю.

- о Інтеграція з системами передачі даних: Корисне навантаження може бути інтегроване з системами передачі даних, такими як радіоабо супутникові зв'язки, що дозволяє передавати зібрані дані до віддалених місць або земної станції. Це забезпечує зв'язок і обмін інформацією між БАК та операторами.

- о Теплове зображення: Корисне навантаження може мати інфрачервону (теплову) камеру, яка здатна виявляти теплове випромінювання об'єктів. Це дозволяє виявляти та візуалізувати теплові підписи об'єктів, що є корисним у таких областях, як пошук і рятування, виявлення пожеж та контроль теплових процесів.

о Детектори радіації: Корисне навантаження може містити детектори радіації, які здатні виявляти різні типи радіації, такі як гамма-, бета- та альфа-випромінювання. Це важливо для радіаційного моніторингу та виявлення джерел радіації.

о Акустичні датчики: Корисне навантаження може включати акустичні датчики, які здатні реєструвати звукові сигнали і шуми. Це може бути корисним для детекції звукових сигналів, таких як голоси, вибухи або інші акустичні події.

о Аерофотограмметрія: Деякі системи корисного навантаження можуть мати фотограмметричні камери або лазерні сканери, які забезпечують можливість створення точних тривимірних моделей території та вимірювання висотного профілю об'єктів.

о Комунікаційні можливості: Корисне навантаження може включати системи комунікації, що дозволяють здійснювати зв'язок з іншими БАК, земною станцією або іншими приймачами. Це дозволяє передавати дані, отримувати команди або отримувати віддалене керування БАК.

Цільові функції БпЛА та склад корисного навантаження

Цільові функції БпЛА та їх пріоритетність*	Склад корисного навантаження БпЛА	Види р залежно від типу ДЗР
1. Повітряна розвідка розвідка заздалегідь визначених об'єктів; пошук об'єктів у визначеному	1. Датчики збору розвідувальної інформації (ДЗРІ): телевізійні камери (ТВК); фотокамери (ФК); інфрачервоні камери (ІЧК);	оптико-електронна (телевізійна) оптична (фотографічна)

<p>районі;</p> <p>дорозвідка (детальна розвідка); 1)</p> <p>повітряне спостереження у визначеному районі; цілевказування; 2)</p> <p>корегування вогню засобів ураження; 2)</p> <p>оцінювання результатів ураження 2)</p>	<p>тепловізійні камери (ТПВК);</p> <p>лазерні ціле вказівники / далекоміри (ЛЦ/ЛД);</p> <p>лазерні радары (Laser radar – LADAR)**</p>	<p>оптико-електронні (інфрачервона)</p> <p>оптико-електронні (тепловізійна)</p> <p>оптико-електронні (лазерна)</p>
<p>об'єктів противника;</p> <p>розвідка місцевості; 7)</p> <p>забезпечення охорони та безпеки своїх військ у місцях їх дислокації та під час їх пересування; 5)</p> <p>радіаційна, хімічна та біологічна розвідка (РХБР); 6)</p> <p>радіо- і радіотехнічна розвідка; 4)</p> <p>виявлення мін та саморобних</p>	<p>РЛС із синтезованою апертурою; системи визначення (індикації) наземних рухомих цілей (СВНРЦ);</p> <p>засоби радіо- і радіотехнічної розвідки;</p> <p>датчики РХБР;</p> <p>датчики виявлення вибухових пристроїв</p>	<p>радіоелектронні (радіолокаційна)</p> <p>радіоелектронні (радіо- і радіотехнічна)</p>

вибухових пристроїв 5)	
2. Ретрансляція зв'язку 4)	2. Обладнання для ретрансляції зв'язку
3. Перевезення (доставка) вантажів 9)	3. Різноманітні вантажі
4. Ураження/подавлення виявлених цілей*** 3)	4. Системи та засоби ураження/подавлення смертельної або не смертельної дії

STANAG 7023 (Standardization Agreement 7023) визначає стандарти та вимоги для інформаційної взаємодії між системами безпілотних літальних апаратів (БЛА) та корисним навантаженням (payload). Цей стандарт розроблений для забезпечення спільності, сумісності та інтеоперабельності між різними типами БЛА та корисним навантаженням, що дозволяє їм ефективно взаємодіяти та обмінюватися даними.

STANAG 7023 описує різні аспекти інформаційної взаємодії, включаючи передачу команд, даних та статусів між БЛА і корисним навантаженням. Стандарт визначає протоколи, формати повідомлень та структуру даних, які використовуються для обміну інформацією.

Деякі ключові аспекти, визначені в STANAG 7023, включають:

1. Команди: Стандарт визначає формати та протоколи для передачі команд земної станції або оператора до БЛА та його корисного навантаження. Це можуть бути команди зміни параметрів, виконання певних дій, активації функцій тощо.

2. Дані: STANAG 7023 також встановлює стандарти для передачі даних між БЛА і корисним навантаженням. Це можуть бути дані, зібрані сенсорами на БЛА або корисним навантаженням, такі як зображення, відео, аудіо, телеметрія тощо.

3. Статуси: Стандарт визначає способи передачі статусних повідомлень, які інформують про розташування, стан, режим роботи та інші характеристики БЛА і його корисного навантаження.

4. Протоколи: STANAG 7023 описує протоколи передачі даних, які використовуються для комунікації між БЛА і корисним навантаженням. Це можуть бути протоколи, такі як UDP (User Datagram Protocol) або TCP (Transmission Control Protocol), які забезпечують надійну і швидку передачу даних.

1.2. Визначення особливостей та вимог до каналів передачі даних, що пов'язані з корисним навантаженням БАК

Особливості передачі даних включають в себе:

Пропускна здатність каналів передачі даних: Канали передачі даних, використовувані для корисного навантаження БАК, повинні мати достатню пропускну здатність для передачі великого обсягу даних в режимі реального часу. Це особливо важливо для додатків, які вимагають високошвидкісного потокового відео чи передачі великих обсягів супутникових зображень.

До каналів зв'язку та передачі даних БпЛА пред'являються жорсткі вимоги щодо забезпечення успішного та безпечного виконання бойових завдань. Насамперед це стосується таких характеристик як сумісність, стійкість до перешкод та введенню в оману, низька ймовірність перехоплення тощо.

У зв'язку з постійним збільшенням бойового радіусу дії БпЛА під час виконання довготривалих завдань та підвищення вимог до надійності і завадозахищеності каналів зв'язку, застосування комунікаційних рішень, які притаманні для LOS, вже максимально можливі, тому все частіше використовуються принципи побудови зв'язку типу BLOS.(рис. 2)

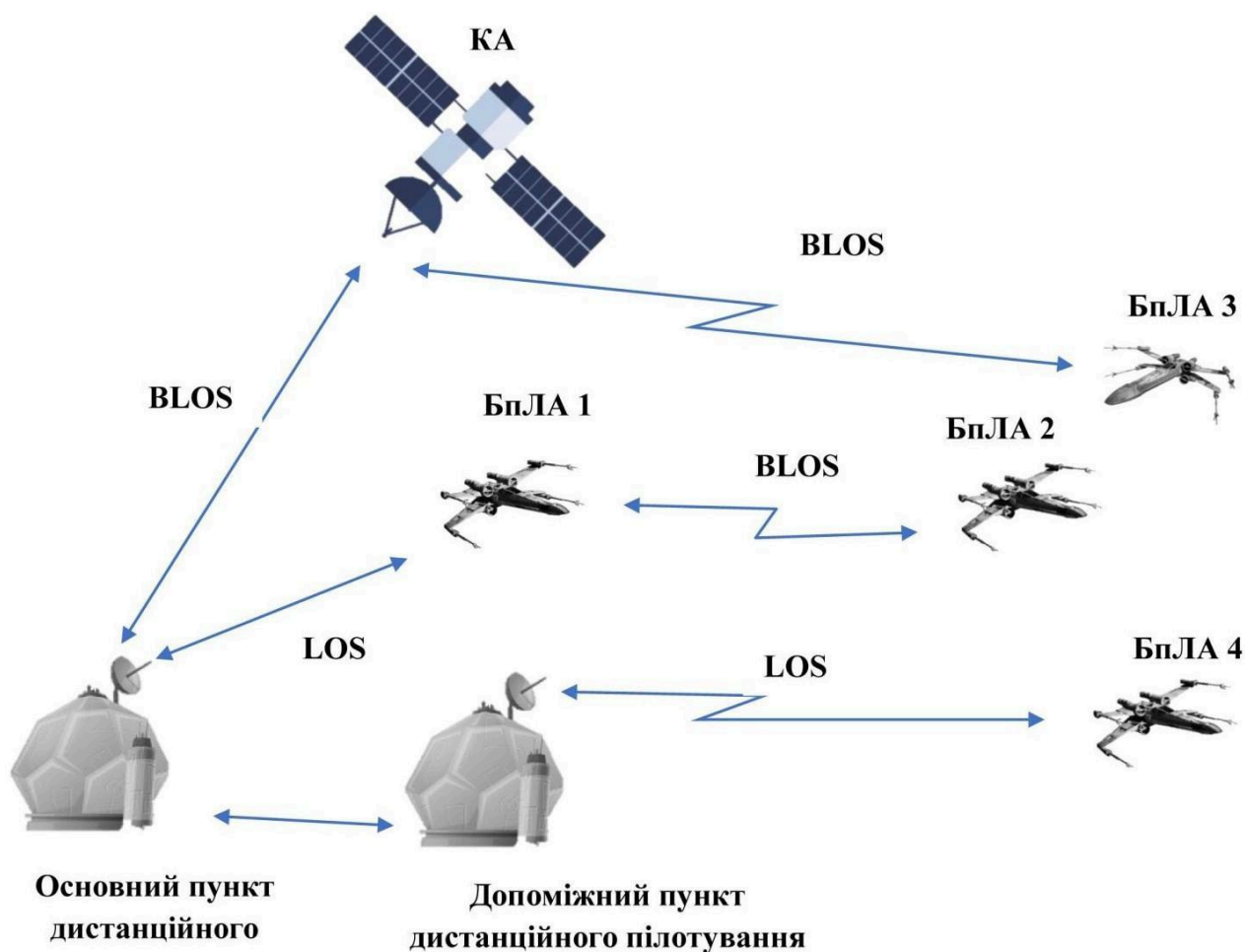


Рис. 2. Організація ліній зв'язку типу LOS/BLOS

Застосування HTS дозволяє значно збільшити швидкість передачі даних з використанням одного приймально-передавального модуля супутникового зв'язку (терміналу) на борту БпЛА, що є одною з головних умов для організації каналу зв'язку для передачі повнокадрового відео та фотознімків з високою роздільною здатністю у масштабі реального часу.

Завадостійкість: Канали передачі даних повинні бути стійкими до різноманітних видів завад, таких як шум, перешкоди або електромагнітна інтерференція. Завадостійкість є критичним фактором для забезпечення надійної передачі даних з корисного навантаження БАК.

Затримка: У деяких додатках, де передача даних в реальному часі є важливою, мінімізація затримки є критичною. Наприклад, у військових додатках, де БАК використовується для розвідки чи нагляду, операторам

необхідно отримувати дані майже миттєво. Тому вимоги до каналів передачі даних повинні включати низьку затримку для забезпечення оперативності і реалізації реального часу.

Важливим параметром, який необхідно враховувати під час організації супутникового зв'язку з БПЛА (для сигналу, що передається з БПЛА на наземну станцію), є час затримки передачі даних, значення якого необхідно звести до мінімуму.

Основним фактором, який має вплив на його значення, є вибір висоти орбіти КА зв'язку. Перевагою геостаціонарної навколоземної орбіти є постійне перебування КА над обраною земною поверхнею в одній і тій же точці, що не потребує створення складної системи стеження антенних систем (затримка близько 280 мс). Однак, мінімальне значення часу затримки може бути досягнуте за допомогою КА на низькій навколоземній орбіті (5,3 мс). Мінімізувати час затримки також можливо за рахунок вибору оптимальних варіантів багатостанційного доступу (або їх поєднань) та багаторівневого шифрування.

Геостаціонарні супутники знаходяться на відстані 32 786 км, тому їх затримка в обидві сторони становить 280 мс. Супутники LEO набагато ближче (781 км), тому їх затримка становить лише 5,3 мс. (Anthapadmanabhan et al., 2015) припускає, що затримка обробки в мобільних мережах зазвичай становить 2 мс, тому очікуються подібні додаткові затримки. У цьому звіті було виявлено, що затримку до 400 мс можна компенсувати в БПЛА контроль висоти тону, використовуючи прогнозну модель простору станів. Але час реакції людини (пілота), слід враховувати (250 мс). Для орбіти GEO $280 + 250 + 2 \text{ мс} = 532 \text{ мс}$, тобто маргінальний. LEO дасть додатковий час і допоможе контролювати стабільність.

Table VI.—STANAG 4586 HCI–DLI latency requirements mapped to a class of service

STANAG 4586 specified maximum latency, ms	Class of service
200	1
500	2
1000	3
2000	4
10,000	5

рис. 3. Максимальна затримка STANAG 4586

Надійність: Канали передачі даних мають бути надійними, щоб уникнути втрати даних під час передачі.

Для забезпечення надійності каналів передачі даних доцільно використовувати комплексний підхід, що включає програмні, апаратні та змішані кошти захисту. Механізми помилкової корекції, повторна передача даних і протоколи забезпечення цілісності даних є важливими складовими для забезпечення надійності передачі даних.

STANAG може містити протоколи та стандарти, спрямовані на забезпечення надійної передачі даних. Наприклад, STANAG 4609 визначає вимоги до компресії та передачі зображень з БАК з метою забезпечення якості та цілісності даних. STANAG 4609 базується на комерційних цифрових стандартах, що дозволяє використовувати для запису та передачі цифрових образів комерційне обладнання. Крім того, в ньому враховано також специфічні військові вимоги для метаданих, які супроводжують відеоінформацію.

Доповнюючи розгорнутий опис вимог до каналів передачі даних, пов'язаних з корисним навантаженням БАК, слід звернути увагу на деякі додаткові аспекти. Один з них - це надійність передачі даних. Канали передачі даних повинні забезпечувати високу стабільність та низький рівень помилок передачі, щоб уникнути втрати або пошкодження важливої інформації. Для досягнення цієї надійності можуть використовуватись різні

методи та протоколи, такі як перевірка паритету, повторна передача пакетів або використання помилкокоригуючих кодів.

Іншим важливим аспектом є швидкодія каналів передачі даних. Залежно від конкретного застосування БАК, можуть вимагатись різні рівні пропускну здатності та швидкості передачі даних. Наприклад, при передачі великого обсягу відеоданих в режимі реального часу можуть використовуватись високошвидкісні канали передачі, які забезпечують достатню пропускну здатність для плавної трансляції зображення. З іншого боку, для передачі менш критичних даних, таких як телеметрія або статистична інформація, можуть використовуватись менші пропускні канали.

Необхідно також враховувати питання сумісності та інтеграції з іншими системами та пристроями. Канали передачі даних повинні бути сумісні з різними типами корисного навантаження, різними моделями БАК та іншими системами, з якими вони взаємодіють. Сумісність зі стандартами та протоколами, визначеними у різних версіях STANAG, що регулюють передачу даних в багатоканальних системах.

Стандарт STANAG 4609 надає розробникам систем максимальну гнучкість, тому він не визначає ні фізичних інтерфейсів для можливості з'єднання (Стика) різних систем, ні їх конфігурації.

Назва стандарту STANAG 4609 - Digital Motion Imagery – можна інтерпретувати як "цифрові рухомі зображення, образи".

Безпека: У залежності від характеру корисного навантаження, передача даних може потребувати захисту від несанкціонованого доступу, перехоплення або зміни.

Безпека є однією з найважливіших особливостей та вимог до каналів передачі даних, пов'язаних з корисним навантаженням БАК. З міркувань

безпеки, передача даних повинна бути захищеною від несанкціонованого доступу, перехоплення або модифікації.

Одним з аспектів безпеки є шифрування даних. Важлива інформація, яка передається через канали передачі даних, може бути зашифрована, щоб забезпечити конфіденційність та запобігти несанкціонованому доступу до неї. Використання шифрування на різних рівнях комунікації допомагає забезпечити безпеку передачі даних.

Крім того, важливим аспектом безпеки є аутентифікація та автентифікація. Канали передачі даних повинні забезпечувати можливість перевірки та ідентифікації відправника та отримувача даних. Це допомагає запобігти підробці даних та забезпечити взаємну довіру між сторонами, які здійснюють комунікацію.

Додатковою мірою безпеки є контроль цілісності даних. Канали передачі даних повинні забезпечувати засоби перевірки цілісності даних, щоб виявляти будь-які зміни або пошкодження даних під час їх передачі. Це дозволяє вчасно виявляти можливі втрати або модифікації даних та приймати відповідні заходи для забезпечення цілісності інформації.

Захист від забруднення та перешкод це канали передачі даних повинні мати механізми для виявлення та усунення небажаного шуму, перешкод, спотворень та інтерференцій, які можуть вплинути на якість передачі даних. Забезпечення належної якості сигналу та ефективного фільтрування допомагають забезпечити стабільну та надійну передачу даних.

Вимоги до каналів передачі даних, пов'язані з корисним навантаженням безпілотних літальних апаратів (БАК), мають свої особливості, які потрібно враховувати для забезпечення ефективності та надійності передачі інформації. Одним з найважливіших аспектів є пропускна здатність каналів, яка повинна бути достатньою для передачі великого обсягу даних, включаючи відео, зображення, телеметрію та інші сенсорні дані. Крім того,

вимагається низька затримка передачі даних у деяких сценаріях, щоб забезпечити швидкість реакції та режим реального часу.

Ще одним аспектом є завадостійкість каналів передачі даних. Вони повинні бути стійкими до різного роду завад, таких як шуми, електромагнітні перешкоди та інтерференція, щоб забезпечити надійну та цілісну передачу інформації. Для забезпечення безпеки переданих даних також необхідні механізми шифрування та захисту, які запобігають несанкціонованому доступу та забезпечують конфіденційність.

Крім того, вимоги до каналів передачі даних повинні відповідати встановленим стандартам, таким як STANAG, які визначають протоколи та вимоги до передачі даних у контексті безпілотних систем. Дотримання цих стандартів гарантує сумісність та ефективну взаємодію між різними системами.

Узгодження каналів передачі даних:

Дослідження методів та протоколів узгодження каналів передачі даних з корисного навантаження БАК є важливою темою, спрямованою на забезпечення ефективної та надійної комунікації між БАК та земною станцією у режимі реального часу.

Одним із підходів до узгодження каналів передачі даних є використання протоколів, які забезпечують керування ресурсами, розподіл пропускну здатності та пріоритезацію даних. Наприклад, протоколи, такі як Time Division Multiple Access (TDMA) та Frequency Division Multiple Access (FDMA), дозволяють розділяти доступ до каналу між різними корисними навантаженнями, забезпечуючи часові або частотні слоти для передачі даних. Такі протоколи можуть забезпечувати кращу керовану передачу даних, уникнення конфліктів та забезпечення якості обслуговування.

Крім того, досліджуються методи та алгоритми управління каналами передачі даних, які враховують різні параметри та обмеження, такі як пропускна здатність каналу, латентність, надійність та енергоефективність. Наприклад, алгоритми ресурсного призначення та планування передачі даних можуть динамічно адаптуватися до змінних умов каналу та вимог корисного навантаження, забезпечуючи оптимальне використання доступних ресурсів.

Також проводяться дослідження щодо використання протоколів, таких як STANAG 7085 (Link 16), які спеціально розроблені для військових застосувань та забезпечують надійну та безпечну передачу даних. Ці протоколи можуть включати механізми передачі, які дозволяють управляти передачею даних, забезпечуючи захист інформації та відновлення після втрати сигналу.

- Розгляд стандартів STANAG, що визначають процедури узгодження каналів передачі даних.

Дані стандарти розроблені НАТО з метою забезпечення стандартизації та спільної сумісності між різними військовими системами та платформами.

STANAG (Standardization Agreement) - це документ, що встановлює технічні вимоги, процедури та протоколи для використання військовою організацією НАТО. У контексті узгодження каналів передачі даних, існують кілька стандартів STANAG, які можуть бути застосовані.

Один з найвідоміших стандартів, пов'язаних з узгодженням каналів передачі даних, це STANAG 7023. Цей стандарт визначає загальні принципи та процедури для обміну даними між БАК та земною станцією, включаючи вимоги до протоколів передачі даних, формати повідомлень та правила взаємодії.

Додатково, STANAG 4545 встановлює вимоги до мережевих протоколів та узгодження каналів передачі даних в контексті багатозадачних військових

систем. STANAG 4607 та STANAG 4609 визначають вимоги до передачі даних з БАК, зокрема щодо кодування, стиснення, синхронізації та формату даних.

Також слід згадати STANAG 4575, який встановлює вимоги до передачі даних від БАК, включаючи визначення фізичного та логічного інтерфейсів, форматів даних та протоколів.

Розгляд стандартів STANAG є важливим для розуміння технічних та протокольних аспектів узгодження каналів передачі даних з корисного навантаження БАК. Ці стандарти надають рекомендації та специфікації, які можуть бути використані при розробці систем зв'язку для БАК з урахуванням вимог безпеки, ефективності та сумісності.

1.3. Висновок до розділу 1

Задача узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження БАК (UAV) є важливим аспектом в розвитку безпілотних систем. Навантаження БАК включає різноманітні пристрої та системи, спрямовані на збір, обробку та передачу даних.

Однією з основних характеристик корисного навантаження БАК є його повна маса, яка визначається залежно від типу і конфігурації літального

апарата. Корисне навантаження може включати різні типи датчиків, пристроїв збору даних, камер, радіоелектронного обладнання та іншого обладнання, необхідного для виконання завдань БАК.

Основна функція корисного навантаження полягає в зборі інформації, спостереженні, виконанні вимірювань та передачі даних. Воно дозволяє отримувати важливу інформацію про навколишнє середовище, об'єкти, явища та виконувати різноманітні завдання, такі як моніторинг, розвідка, картографування, пошук та рятування, комунікації тощо.

Для забезпечення узгодженої взаємодії каналів передачі даних з цифровими датчиками використовуються стандарти, такі як STANAG (Standardization Agreement). STANAG 7023, зокрема, може визначати специфікації і вимоги до передачі даних між БАК та наземними станціями.

Інтеграція з системами передачі даних є важливим аспектом управління та контролю БАК. Використання космічних каналів зв'язку дозволяє організувати управління БАК різних підрозділів з одного пункту управління, що спрощує процес планування та виконання завдань.

Додаткові стандарти, такі як STANAG 7023, STANAG 7085 та STANAG 4660, регламентують формат передачі даних, вимоги до радіоліній зв'язку та високозахищеного каналу обміну даними для БПЛА відповідно. Серед можливих інтеграцій з системами передачі даних згадуються радіо, супутникові зв'язки та комунікаційні можливості. Крім того, наведено приклади корисного навантаження, такі як теплові камери, детектори радіації, акустичні датчики та аерофотограмметрія. STANAG 7023 визначає стандарти та протоколи для інформаційної взаємодії між БЛА та корисним навантаженням, забезпечуючи їх спільність та сумісність.

- При передачі даних від безпілотних літальних апаратів (БПЛА) важливі такі особливості, як пропускна здатність каналів, сумісність, стійкість до перешкод, низька ймовірність перехоплення та завадозахищеність.

- Застосування комунікаційних рішень типу BLOS (зв'язок поза лінією зору) стає все більш поширеним для довготривалих місій та вимог до надійності.

- Використання високошвидкісних супутникових зв'язків (HTS) дозволяє передавати великі обсяги даних у режимі реального часу, зокрема відео та фотознімки високої роздільної здатності.

- Завадостійкість є важливим фактором для забезпечення надійної передачі даних з БПЛА, враховуючи шум, перешкоди та електромагнітну інтерференцію.

- Мінімізація затримки є критичною для додатків, які вимагають передачі даних в реальному часі. Вибір висоти орбіти супутників має вплив на затримку передачі даних, де навколоземні орбіти (LEO) можуть забезпечити нижчу затримку порівняно з геостаціонарними орбітами (GEO).

- Надійність передачі даних досягається за допомогою комплексного підходу, включаючи механізми помилкової корекції, повторну передачу даних і протоколи забезпечення цілісності даних.

- Військові стандарти, такі як STANAG, визначають вимоги до передачі даних з БПЛА, зокрема щодо компресії та цілісності зображень.

Важливими аспектами є пропускна здатність каналів, безпека передачі даних, завадостійкість, узгодження каналів та використання стандартів STANAG.

Для ефективної передачі даних БАК потрібні канали з достатньою пропускною здатністю та низькою затримкою, щоб передавати великі обсяги даних у режимі реального часу. Забезпечення безпеки передачі даних включає шифрування, аутентифікацію та контроль цілісності. Завадостійкість каналів передачі даних вимагає захисту від шумів, перешкод та інтерференцій.

Узгодження каналів передачі даних може здійснюватись за допомогою протоколів, які керують розподілом ресурсів та пріоритетами даних. Протоколи TDMA та FDMA дозволяють розділяти доступ до каналу між різними корисними навантаженнями. Досліджуються також методи управління каналами передачі даних з урахуванням різних параметрів та обмежень.

Стандарти STANAG визначають процедури узгодження каналів передачі даних. Наприклад, STANAG 7023 встановлює загальні принципи та процедури обміну даними між БАК та земною станцією.

Отже, узгоджена взаємодія каналів передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК є необхідним елементом для успішного функціонування та виконання завдань безпілотних систем.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПРОТОКОЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ СИСТЕМ

Безпілотні системи (БПЛА) все частіше використовуються в різних галузях, таких як навігація, військова справа, сільське господарство та розваги. Для ефективної роботи БПЛА необхідно мати надійний і ефективний протокол передачі даних.

Протокол передачі даних визначає спосіб, яким інформація передається між різними компонентами БПЛА. Він включає в себе такі аспекти, як формат даних, методи кодування, методи контролю помилок та методи управління потоком даних.

Існує багато різних протоколів передачі даних, які можна використовувати для БПЛА. Деякі з найпоширеніших протоколів включають:

- UDP (User Datagram Protocol) - простий протокол, який не забезпечує надмірну надійність. Він використовується для передачі коротких пакетів даних, які можуть бути втрачені без серйозних наслідків.
- TCP (Transmission Control Protocol) - більш надійний протокол, який забезпечує гарантовану доставку даних. Він використовується для передачі великих пакетів даних, які не можуть бути втрачені.
- IP (Internet Protocol) - базовий протокол, який використовується для маршрутизації даних через Інтернет. Він не забезпечує надмірну надійність, але може бути використаний з іншими протоколами, такими як UDP або TCP, для забезпечення надійної передачі даних.

Вибір протоколу передачі даних для БПЛА залежить від таких факторів, як:

- Важність даних - якщо дані важливі, то слід використовувати протокол з високою надійністю, наприклад TCP.
- Розмір даних - якщо дані великі, то слід використовувати протокол з високим коефіцієнтом передачі даних, наприклад UDP.
- Вартість - деякі протоколи є більш дорогими, ніж інші.

Аналіз протоколів передачі даних для БПЛА є важливим завданням для розробників БПЛА. Правильний вибір протоколу може забезпечити ефективну і надійну передачу даних, що є критично важливим для успішної роботи БПЛА.

Ось деякі з аспектів, які слід враховувати при аналізі протоколів передачі даних для БПЛА:

- Надійність - протокол повинен забезпечувати надійну доставку даних навіть у складних умовах, таких як завадливі сигнали або перешкоди.
- Швидкість передачі даних - протокол повинен забезпечувати високу швидкість передачі даних, щоб забезпечити ефективне використання пропускної здатності каналу зв'язку.
- Ефективність використання пропускної здатності - протокол повинен ефективно використовувати пропускну здатність каналу зв'язку, щоб уникнути перевантаження каналу або втрати даних.
- Зручність використання - протокол повинен бути простим у використанні та налаштуванні.

При аналізі протоколів передачі даних для БПЛА слід також враховувати конкретні вимоги до системи. Наприклад, якщо БПЛА використовується в військових цілях, то протокол повинен забезпечувати високу безпеку даних. Якщо БПЛА використовується в системах навігації, то протокол повинен забезпечувати високу точність.

Аналіз протоколів передачі даних для БПЛА є складним завданням, яке вимагає спеціальних знань і досвіду. Однак, правильно обраний протокол може забезпечити ефективну і надійну передачу даних, що є критично важливим для успішної роботи БПЛА.

Ось деякі додаткові аспекти, які слід враховувати при аналізі протоколів передачі даних для БПЛА:

- Підтримка мультиплексування - протокол повинен підтримувати мультиплексування, щоб кілька джерел даних могли одночасно передавати дані по одному каналу зв'язку.

- Підтримка QoS (якість обслуговування) - протокол повинен підтримувати QoS, щоб забезпечити, що важливі дані отримують пріоритет над менш важливими даними.
- Підтримка безпеки - протокол повинен підтримувати безпеку, щоб захистити дані від несанкціонованого доступу.

Вибір протоколу передачі даних для БПЛА є складним завданням, яке вимагає ретельного аналізу всіх факторів, які можуть впливати на роботу системи.

2.1. Дослідження різних протоколів передачі даних, які використовуються в безпілотних системах із використанням STANAG

Безпілотні системи (БПЛА) все частіше використовуються в різних галузях, таких як навігація, військова справа, сільське господарство та розваги. Для ефективної роботи БПЛА необхідно мати надійний і ефективний протокол передачі даних.

STANAG (Standardization Agreement) - це угода зі стандартизації НАТО, яка визначає вимоги до сумісності БПЛА. STANAG 4586 визначає стандартні інтерфейси систем керування БПЛА. Ці інтерфейси включають в себе вимоги до протоколів передачі даних.

Метою створення стандарту STANAG 4677 є організація взаємодії військ різних країн НАТО для підвищення ситуаційної обізнаності на полі бою шляхом обміну тактичною інформацією між різними групами військ в низькошвидкісних каналах зв'язку на базі УКХ радіостанцій. Основним об'єктом застосування цього стандарту є система спішеного солдата в тактичній ланці управління.

Інформація, яка поступає від АСУ, трансформується в Joint Dismounted

Soldier System Data Model (JDSSDM). Моделі даних JDSSDM описуються мовою XML, теги та структура якого чітко прописані у стандарті STANAG 4677 відповідно до типу повідомлення. JDSSDM інкапсулюються ще в одну структуру даних Joint Dismounted Soldier Information Exchange Mechanism (JDSSIEM). JDSSIEM реалізує механізм гарантованого обміну інформацією в мережі JDSS. Цей механізм призначений для використання в broadcast і multicast системах зв'язку. Тобто пакети, які відправляються у IP-мережу використовують мультикасні IP адреси. Рішення цього стандарту зображено на рис. 4.

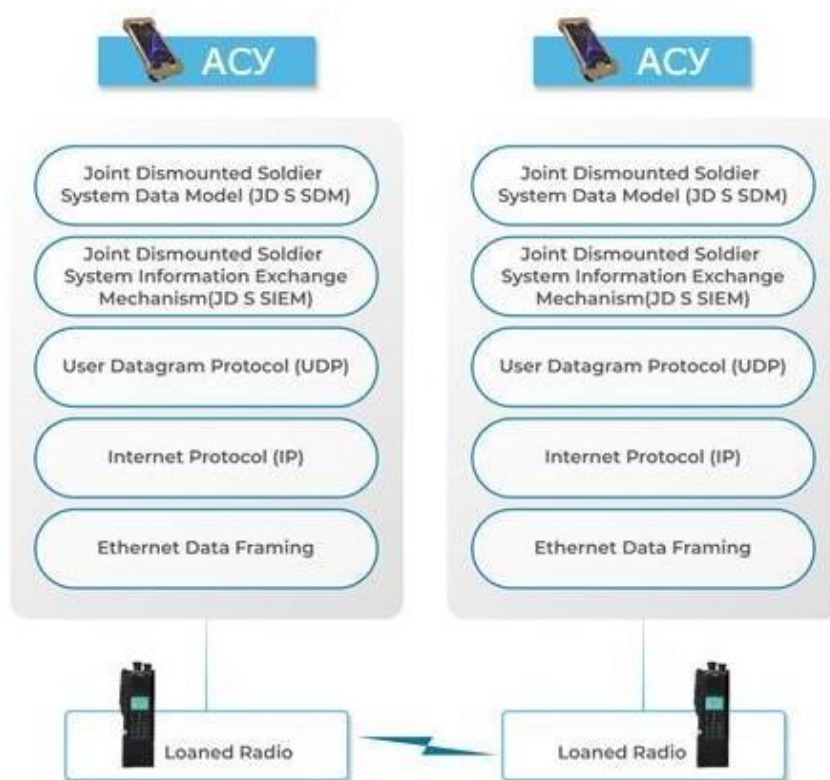


Рис. 4. Структура стандарту STANAG 4677

Найбільш поширеними протоколами передачі даних, які використовуються в БПЛА, є:

- JDSS (Joint Datalink Standard for Systems) - стандартний протокол для передачі даних в БПЛА. Він забезпечує надійну і ефективну передачу даних в широкому діапазоні умов.

- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) - протокол передачі даних на основі моделі "публікатор-підписник". Він забезпечує гнучку і масштабовану передачу даних.

- DDS (Data Distribution Service) - протокол передачі даних для розподілених систем. Він забезпечує надійний і ефективний обмін даними між різними компонентами системи.

У таблиці нижче наведено порівняння цих протоколів за такими параметрами:

Параметр	JDSS	MQTT	DDS
Надійність	Висока	Висока	Висока
Швидкість передачі даних	Висока	Висока	Висока
Ефективність використання пропускну здатності	Висока	Висока	Висока
Зручність використання	Середня	Висока	Висока
Підтримка мультиплексування	Так	Так	Так
Підтримка QoS	Так	Так	Так
Підтримка безпеки	Так	Так	Так

Який протокол передачі даних найкраще підходить для конкретного застосування БПЛА, залежить від таких факторів, як:

- Важливість даних
- Розмір даних
- Вартість
- Специфічні вимоги до системи

Наприклад, якщо дані важливі і повинні бути доставлені надійно, то слід використовувати протокол з високою надійністю, наприклад JDSS або DDS. Якщо дані великі і повинні бути доставлені швидко, то слід використовувати протокол з високою швидкістю передачі даних, наприклад MQTT або DDS. Якщо БПЛА використовується в військових цілях, то протокол повинен забезпечувати високу безпеку даних.

STANAG (Standardization Agreement) - це стандарти, розроблені НАТО для забезпечення взаємосумісності між різними системами і обладнанням. STANAG 4586 визначає вимоги до сумісності інтерфейсів систем керування БПЛА для сумісності БПЛА НАТО.

STANAG 4586 рекомендує використовувати JDSS для передачі даних між БПЛА і наземними системами. MQTT і DDS можуть використовуватися для передачі даних між різними компонентами БПЛА.

Нижче наведено деякі додаткові протоколи передачі даних, які можуть бути використані в БПЛА:

- UDP (User Datagram Protocol) - простий протокол, який не забезпечує надмірну надійність. Він може використовуватися для

передачі коротких пакетів даних, які можуть бути втрачені без серйозних наслідків.

- TCP (Transmission Control Protocol) - більш надійний протокол, який забезпечує гарантовану доставку даних. Він може використовуватися для передачі великих пакетів даних, які не можуть бути втрачені.

- IP (Internet Protocol) - базовий протокол, який використовується для маршрутизації даних через Інтернет. Він не забезпечує надмірну надійність, але може використовуватися з іншими протоколами, такими як UDP або TCP, для забезпечення надійної передачі даних.

STANAG 4586 визначає два типи протоколів передачі даних для БПЛА:

- Протоколи управління - використовуються для передачі команд і даних між різними компонентами БПЛА, такими як станція управління, БПЛА та датчики.

- Протоколи передачі даних - використовуються для передачі відео, зображень, акустичних даних та інших даних між різними компонентами БПЛА.

STANAG 4586 визначає такі протоколи управління:

- STANAG 4586-2 - використовується для передачі команд і даних між станціями управління і БПЛА.

- STANAG 4586-3 - використовується для передачі команд і даних між БПЛА та датчиками.

STANAG 4586 визначає такі протоколи передачі даних:

- STANAG 4586-4 - використовується для передачі відео між станціями управління і БПЛА.

- STANAG 4586-5 - використовується для передачі зображень між станціями управління і БПЛА.
- STANAG 4586-6 - використовується для передачі акустичних даних між станціями управління і БПЛА.

STANAG 4586 є важливим стандартом для забезпечення сумісності БПЛА НАТО. Він визначає вимоги до протоколів передачі даних для БПЛА, які допомагають забезпечити надійну і ефективну передачу даних між різними компонентами БПЛА. (рис. 5)

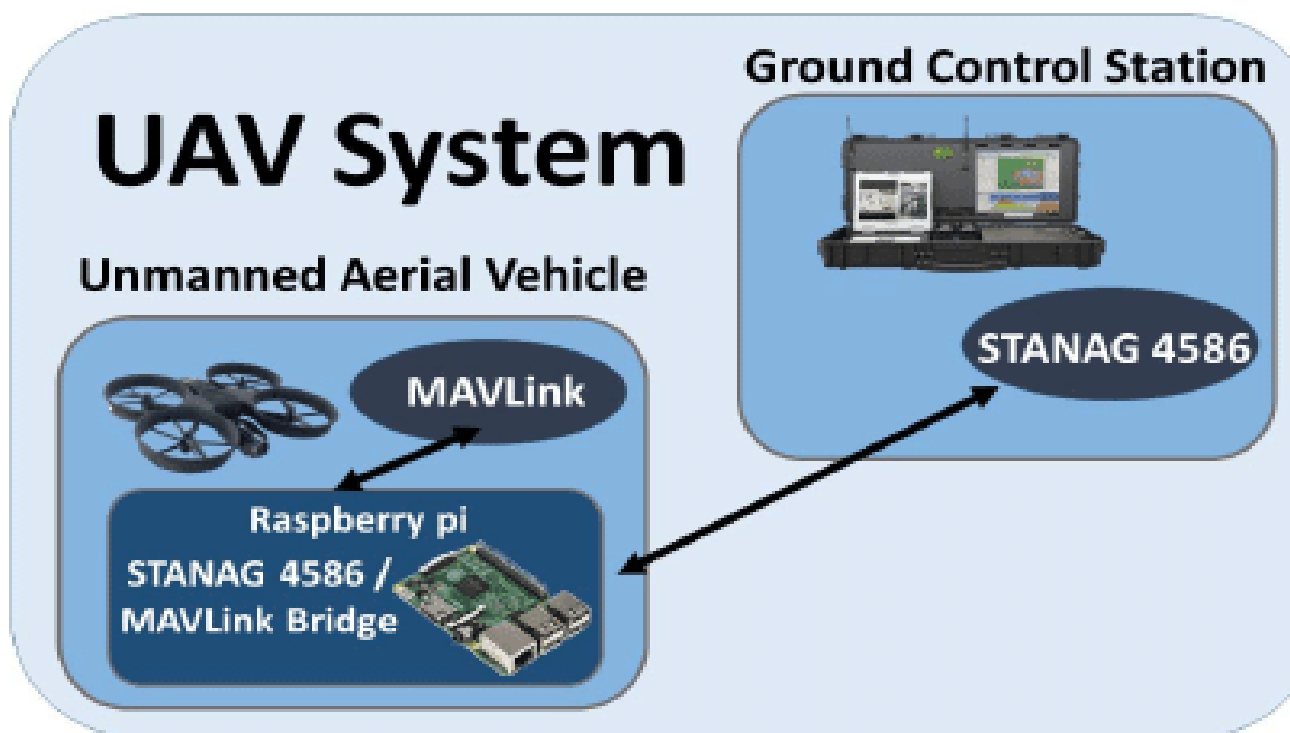


рис. 5. UAV System

2.2. Визначення переваг та обмежень різних протоколів з точки зору узгодження взаємодії з цифровими датчиками корисного навантаження БАК

Преваги та обмеження різних протоколів передачі даних з точки зору узгодження взаємодії з цифровими датчиками корисного навантаження БАК

Безпілотні авіаційні комплекси (БАК) все частіше використовуються в різних галузях, таких як навігація, військова справа, сільське господарство та розваги. Для ефективної роботи БАК необхідні надійні і ефективні протоколи передачі даних, які забезпечують узгодження взаємодії з цифровими датчиками корисного навантаження.

Існує багато різних протоколів передачі даних, які можна використовувати для БАК. Деякі з найпоширеніших протоколів включають:

- UDP (User Datagram Protocol) - простий протокол, який не забезпечує надмірну надійність. Він використовується для передачі коротких пакетів даних, які можуть бути втрачені без серйозних наслідків.
- TCP (Transmission Control Protocol) - більш надійний протокол, який забезпечує гарантовану доставку даних. Він використовується для передачі великих пакетів даних, які не можуть бути втрачені.
- IP (Internet Protocol) - базовий протокол, який використовується для маршрутизації даних через Інтернет. Він не забезпечує надмірну надійність, але може бути використаний з іншими протоколами, такими як UDP або TCP, для забезпечення надійної передачі даних.

NATO Friendly Force Information (NFFI) – це 16-байтовий бінарний заголовок, який використовується для маркування даних при їх фрагментації, для адресації даних між різними АСУ, вказує на наявність стискання даних та алгоритм стискання, а також вказані пріоритети пакетів. JDSSIEM представляє собою, як і JDSSDM, XML повідомлення, відповідає за синхронізацію пропущених повідомлень та стискання даних.

Стек протоколів STANAG 4677 пока- зано на рис.6

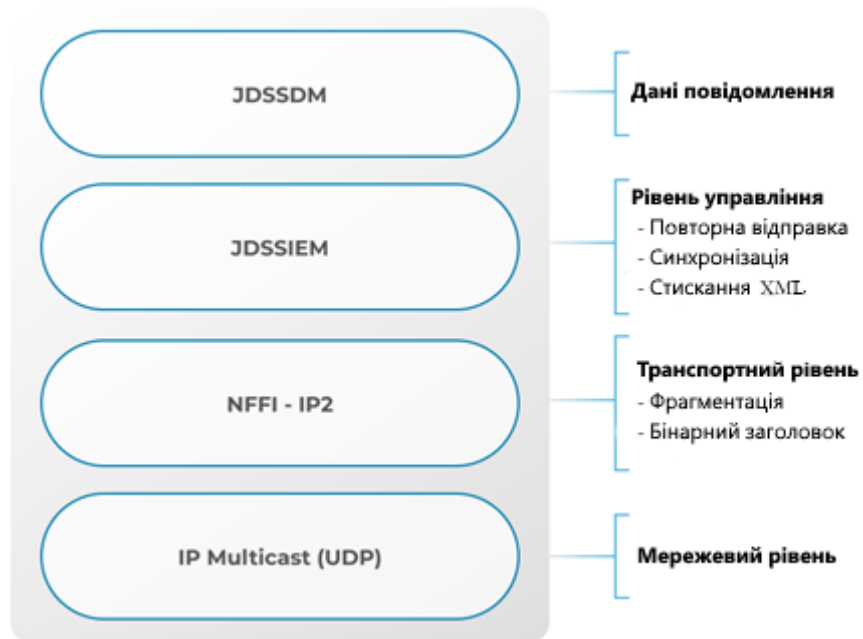


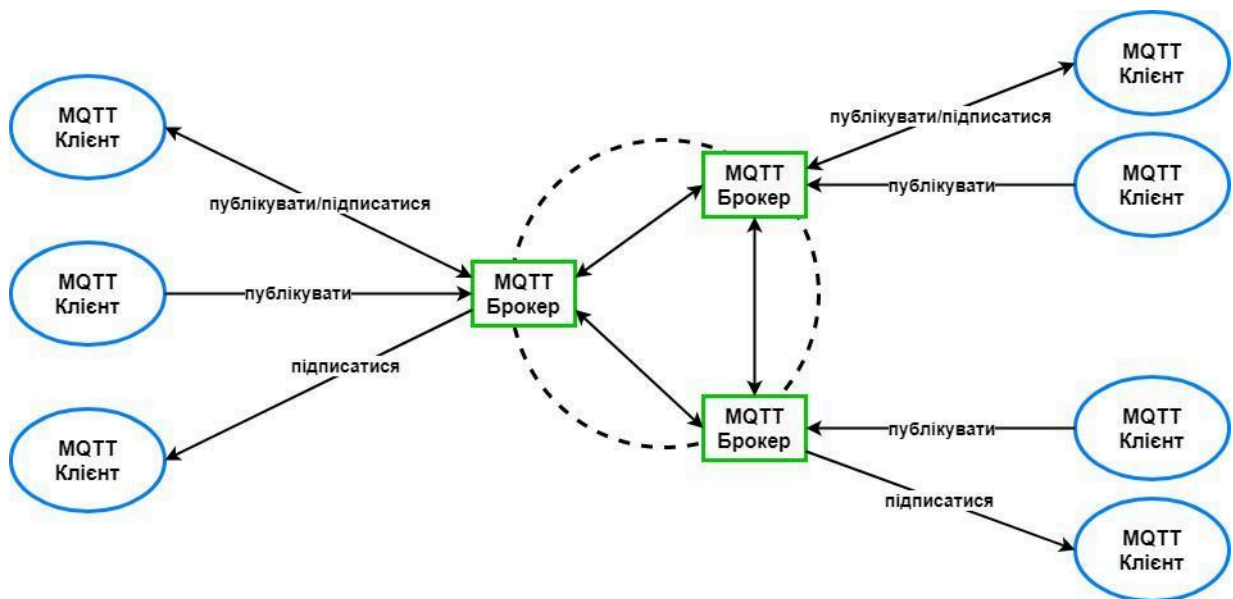
Рис. 6. Стек протоколів STANAG 4677

Механізм гарантованої передачі даних в стандарті STANAG 4677 має унікальну властивість, адже на відміну від стандартних протоколів стеку TCP/IP JDSS використовує спеціальний механізм синхронізації пропущених повідомлень. Для реалізації цього механізму використовується декілька службових повідомлень: “HeartBeat”, “MessageSyncRequest”, “MessageSyncReply”, “FullSyncRequest”, “FullSyncReply”.

****Протокол MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):****

Простота цього протоколу дозволила на сьогоднішній день використовувати його для передачі інформації між пристроями з обмеженою потужністю процесора та часом автономної роботи. Реалізація протоколу MQTT передбачає використання централізованого підходу до мережевої топології. Система зв'язку, яка побудована на основі MQTT, складається з «видавця», «брокеру» та «підписника». «Видавець» не потребує налаштувань по кількості чи місцезнаходженню своїх «підписників», а лише

відправляє повідомлення за необхідними «темами». «Підписники» також не потребують налаштувань на конкретних «видавців», вони лише повідомляють «брокеру» за якими темами хочуть отримувати повідомлення. Брокер представляє собою центральний вузол MQTT, який забезпечує взаємодію між «видавцями» і «підписниками». Обмін даними між клієнтами відбувається тільки через брокера. Його основними задачами є отримання даних від клієнтів, обробка та контроль за доставкою повідомлень. Кількість «підписників», «видавців» та «брокерів» у мережі необмежена. Архітектура



протоколу MQTT показана на рис.7[7].

Рис. 7. Архітектура протоколу MQTT

Переваги:

- ****Легкість використання та налаштування****: MQTT спрощує взаємодію між датчиками та БАС, має простий API і може бути швидко налаштований.
- ****Низький рівень пропускну здатності****: MQTT може ефективно передавати дані в реальному часі за допомогою мінімальної кількості трафіку.

Обмеження:

- ****Надійність при втраті зв'язку****: При втраті зв'язку може виникнути втрата даних, яка вимагає додаткових механізмів для роботи з такими ситуаціями.

****Протокол CoAP (Constrained Application Protocol)****

Переваги:

- ****Ефективність в ресурсах****: CoAP розроблений для пристроїв з обмеженими ресурсами, такими як датчики, і тому може ефективно використовувати батареї та обчислювальні можливості.

- ****Робота з проксі-серверами****: CoAP дозволяє взаємодіяти з пристроями через проксі-сервери, що може бути корисним у складних мережевих конфігураціях.

Обмеження:

- ****Менше розширених функцій****: Оскільки CoAP розроблений для обмежених пристроїв, він може мати менше розширених функцій порівняно з іншими протоколами.

****Протокол HTTP (Hypertext Transfer Protocol)****

Переваги:

- ****Універсальність****: HTTP є широко використовуваним протоколом, який може бути реалізований на багатьох пристроях.

- ****Підтримка SSL/TLS****: HTTP може використовувати захищені з'єднання, що забезпечує конфіденційність даних.

Обмеження:

- ****Велика кількість надлишкових даних****: HTTP може передавати багато надлишкової інформації, що може призвести до недоцільного використання пропускну здатності.

Протокол DDS – це протокол для передачі інформації за допомогою моделі «видавець-підписник», який орієнтоване на дані та призначене для високо динамічних розподілених систем. Він стандартизований Object Management Group (OMG). Повідомлення публікуються в домені DDS, а інформаційний пакет описує структуру даних, відправника та отримувача інформації. Клієнти можуть публікувати отримувати повідомлення лише в своєму домені та мають свої сертифікати для авторизації. Протокол DDS є одним із багатьох протоколів, що використовуються в таких галузях промисловості, як залізничні мережі, управління повітряним рухом, інтелектуальна енергетика, медичне обслуговування, військова, аерокосмічна промисловість та промислова автоматизація.

Передача даних в протоколі DDS здійснюється за допомогою транспортного фреймворку, який підтримує одразу декілька протоколів передачі: TCP, UDP unicast, UDP multicast, shared memory та Real-time Publish-Subscribe (RTPS) wire protocol. DDS, на відміну від MQTT, підтримує як централізовану топологію побудови системи зв'язку, так і децентралізовану.

Централізований підхід будується за допомогою «Information Repository», який представляє собою сервер з інформацією про клієнтів домену, але не бере участі в передачі даних. Принцип взаємодії програмного забезпечення за допомогою вищевказаного підходу показано на **рис. 8**.

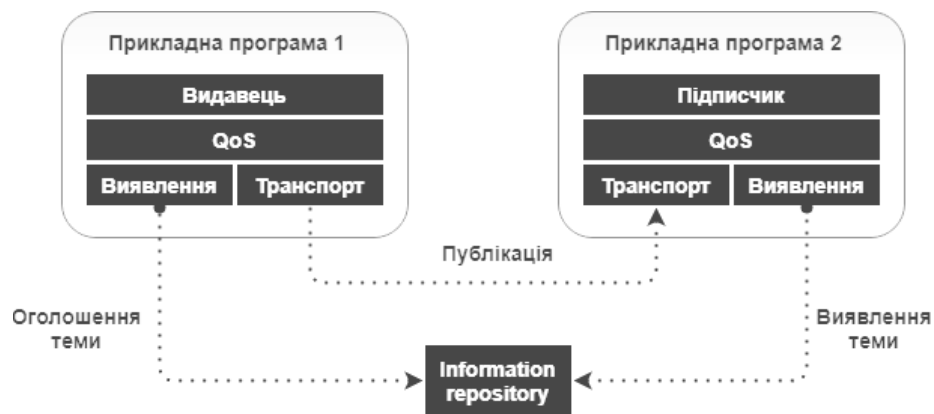


Рис. 8. Централізована взаємодія прикладних програм з DDS

Таким чином, «Information Repository» отримує від «видавців» та «підписників» назви тем, на які вони публікуються та підписуються відповідно. Передача даних відбувається безпосередньо між «видавцем» і «підписником». Окрім того, клієнти DDS можуть виступати «видавцем» і «підписником» одночасно.

Децентралізований підхід передбачає, що «підписники» та «видавці» виявляють один одного за допомогою протоколу RTPS (рис.9). Тобто кожен «видавець» виявляє сам своїх «підписників» та зберігає інформацію про них.

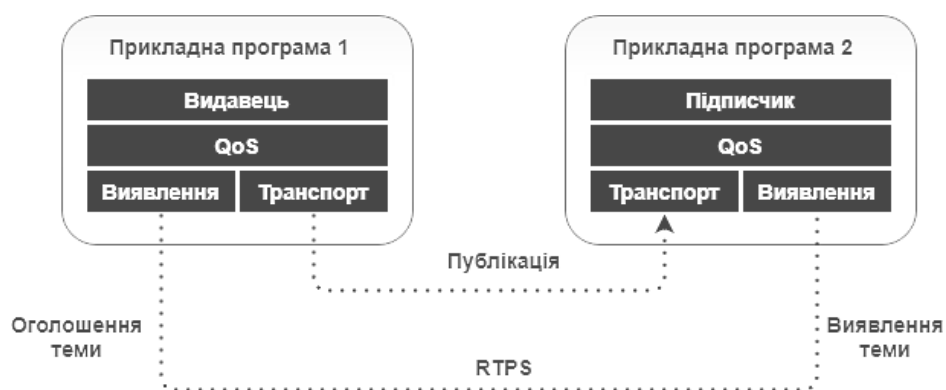


Рис. 9. Децентралізована взаємодія прикладних програм з DDS

Вибір протоколу залежить від специфіки вашої безпіотної системи, вимог до швидкості передачі, споживаної енергії, надійності та інших факторів. Важливо ретельно аналізувати переваги та обмеження кожного

протоколу для забезпечення оптимальної взаємодії з цифровими датчиками корисного навантаження вашої БАК.

Преваги та обмеження UDP

UDP має такі переваги:

- Висока швидкість передачі даних
- Невисока вартість
- Простота реалізації

UDP має такі обмеження:

- Не забезпечує надійної доставки даних
- Не підтримує мультиплексування
- Не підтримує QoS

Преваги та обмеження TCP

TCP має такі переваги:

- Надійна доставка даних
- Підтримує мультиплексування
- Підтримує QoS

TCP має такі обмеження:

- Нижча швидкість передачі даних, ніж UDP
- Більш висока вартість
- Більш складна реалізація

Преваги та обмеження IP

IP має такі переваги:

- Підтримує маршрутизацію даних
- Підтримує IPv4 і IPv6
- Підтримує кілька протоколів транспортного рівня

IP має такі обмеження:

- Не забезпечує надійної доставки даних
- Не підтримує мультиплексування
- Не підтримує QoS

Узгодження взаємодії з цифровими датчиками корисного навантаження БАК

Для узгодження взаємодії з цифровими датчиками корисного навантаження БАК протокол передачі даних повинен забезпечувати такі функції:

- Передачу команд і даних між станціями управління і БАК
- Передачу команд і даних між БАК і датчиками
- Передачу відео, зображень, акустичних даних та інших даних між різними компонентами БАК
- Надійну доставку даних
- Мультиплексування даних
- QoS

З точки зору цих функцій, UDP є хорошим вибором для передачі коротких пакетів даних, які не критично важливі для роботи БАК. Наприклад, UDP можна використовувати для передачі даних про стан датчиків або для управління датчиками.

TCP є хорошим вибором для передачі великих пакетів даних, які критично важливі для роботи БАК. Наприклад, TCP можна використовувати для передачі відео або зображень.

IP можна використовувати для маршрутизації даних між різними компонентами БАК. Однак, для забезпечення надійної доставки даних, IP слід використовувати з протоколами транспортного рівня, такими як TCP або UDP.

Вибір протоколу передачі даних для БАК залежить від конкретних вимог до системи. Для забезпечення надійної і ефективної передачі даних між різними компонентами БАК слід використовувати протокол, який забезпечує необхідні функції і відповідає вимогам до надійності, пропускну здатності та інших характеристик.

2.3. Стандартизація та міжнародні норми в області протоколів передачі даних для безпілотних систем

Безпілотні системи (БПЛА) все частіше використовуються в різних сферах, таких як цивільна авіація, військова справа, розвідка та моніторинг. Для ефективної роботи БПЛА необхідна надійна та ефективна передача даних між різними компонентами системи, включаючи БПЛА, наземну

станцію управління (НСУ) та інші пристрої. (рис. 10)

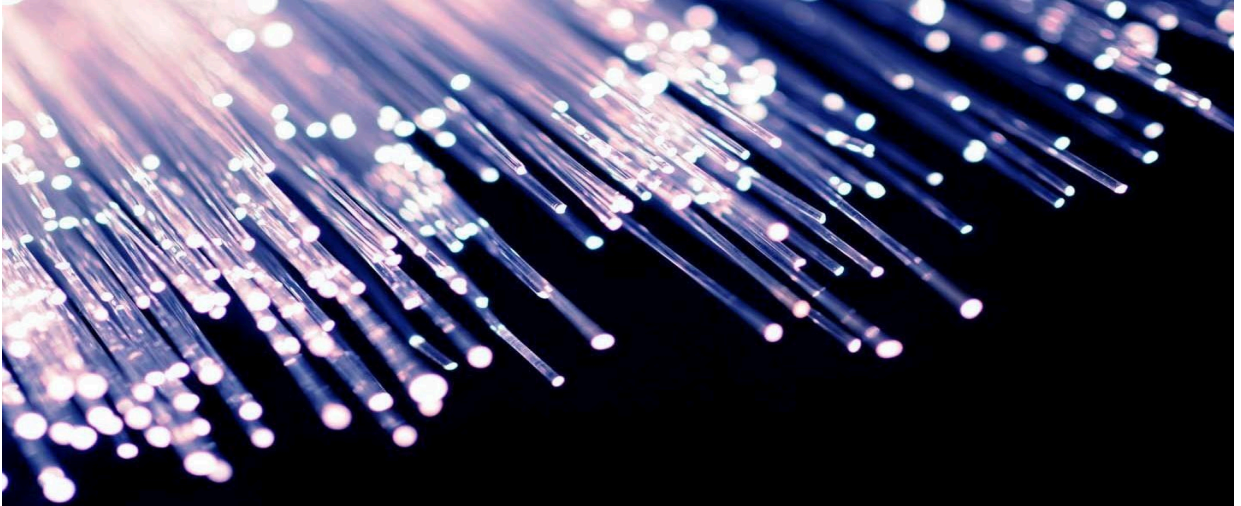


Рис. 10 Передача даних

Протоколи передачі даних є набором правил, які визначають, як дані передаються між різними пристроями. Вони є важливим елементом будь-якої безпілотної системи, оскільки забезпечують передачу даних у звичному та передбачуваному порядку.

Існує безліч різних протоколів передачі даних, які можуть використовуватися для БПЛА. Деякі з найпоширеніших протоколів включають:

- S-BUS - це протокол низької швидкості, який використовується для передачі даних між БПЛА та НСУ. (рис. 11)



Рис. 11 S-BUS

- MAVLink - це протокол середньої швидкості, який використовується для передачі даних між БПЛА, НСУ та іншими пристроями. (рис. 12)



Рис. 12 MAVLink

- UDP - це протокол високої швидкості, який використовується для передачі даних між БПЛА та НСУ в реальному часі. (рис. 13)

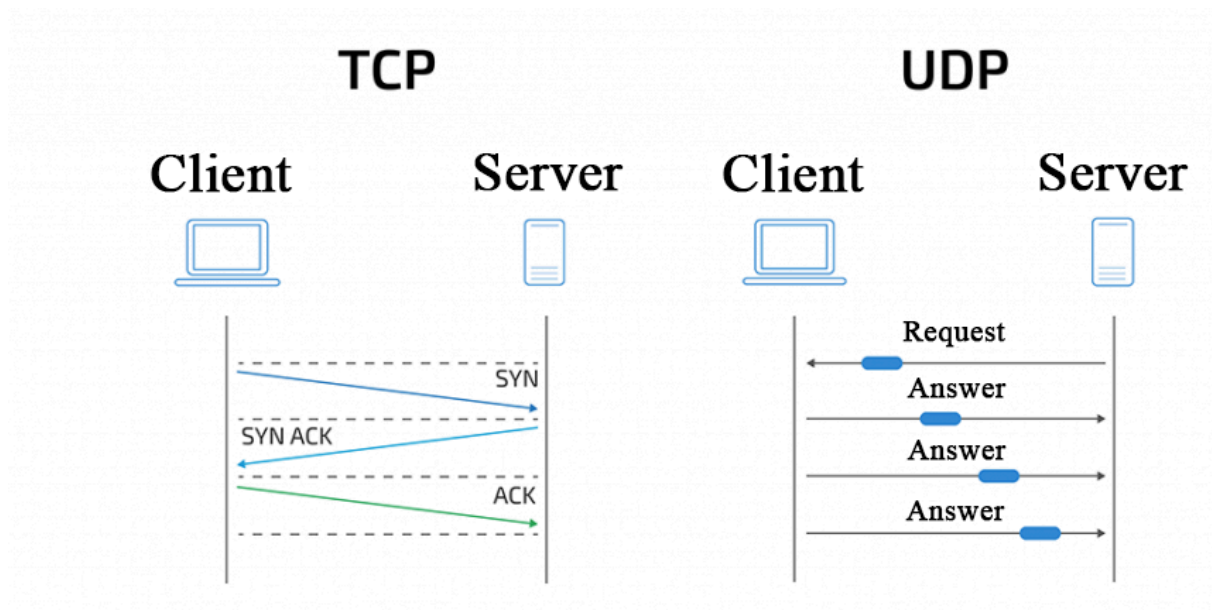


Рис. 13 UDP

Вибір протоколу передачі даних для БПЛА залежить від кількох факторів, включаючи:

- Швидкість передачі даних - протокол повинен мати достатню швидкість передачі даних для потреб конкретної безпілотної системи.
- Відстань передачі - протокол повинен мати достатній діапазон передачі для потреб конкретної безпілотної системи.
- Надійність - протокол повинен бути надійним і уникати помилок передачі даних.

Стандартизація протоколів передачі даних для БПЛА є важливою для забезпечення взаємосумісності між різними системами. Стандартизація допомагає гарантувати, що різні компоненти БПЛА можуть взаємодіяти один з одним без проблем.

Існує кілька міжнародних організацій, які займаються стандартизацією протоколів передачі даних для БПЛА. Однією з найважливіших організацій є Об'єднана авіаційна транспортна організація (ICAO). ICAO розробила ряд стандартів для протоколів передачі даних, які використовуються в цивільній авіації.

Іншою важливою організацією, яка займається стандартизацією протоколів передачі даних для БПЛА, є Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO). ICAO розробила ряд стандартів для протоколів передачі даних, які використовуються в військовій авіації.

- Стандартизація протоколів передачі даних для БПЛА є важливою для забезпечення безпечного та ефективного використання безпілотних систем. Стандарти допомагають гарантувати, що різні компоненти БПЛА можуть

взаємодіяти один з одним без проблем, що є важливим для забезпечення безпеки польотів.

Ось деякі конкретні приклади того, як стандартизація протоколів передачі даних для БПЛА може допомогти:

- Стандартизація протоколів передачі даних може допомогти забезпечити безпечне використання безпілотних систем. Наприклад, стандарти можуть вимагати, щоб БПЛА використовували певні протоколи для передачі даних про свою позицію та швидкість. Це може допомогти в запобіганні зіткненням між БПЛА та іншими літальними апаратами.

- Стандартизація протоколів передачі даних може допомогти покращити продуктивність безпілотних систем. Наприклад, стандарти можуть визначати, як дані повинні бути упаковані та передані. Це може допомогти підвищити ефективність передачі даних і зменшити затримку.

- Стандартизація протоколів передачі даних може допомогти знизити вартість безпілотних систем. Коли різні виробники використовують стандартизовані протоколи, це може допомогти зменшити витрати на розробку та виробництво БПЛА.

STANAG 4586 – це стандарт НАТО, який визначає вимоги до сумісності інтерфейсів систем керування БПЛА (UCS) для сумісності БПЛА НАТО. Стандарт визначає загальні вимоги до інтерфейсів UCS, а також конкретні вимоги до окремих типів даних, які передаються між UCS.

STANAG 4586 має на меті забезпечити, щоб БПЛА НАТО могли взаємодіяти один з одним та з іншими системами НАТО без проблем. Стандарт допомагає гарантувати, що БПЛА НАТО можуть безпечно та ефективно використовуватися в спільних операціях.

Основні вимоги STANAG 4586 включають:

- Вимоги до фізичних інтерфейсів: Стандарт визначає вимоги до фізичних інтерфейсів, які використовуються для підключення UCS. Ці вимоги включають типи кабелів, які можуть використовуватися, а також типи роз'ємів, які повинні використовуватися. (Рис. 14)

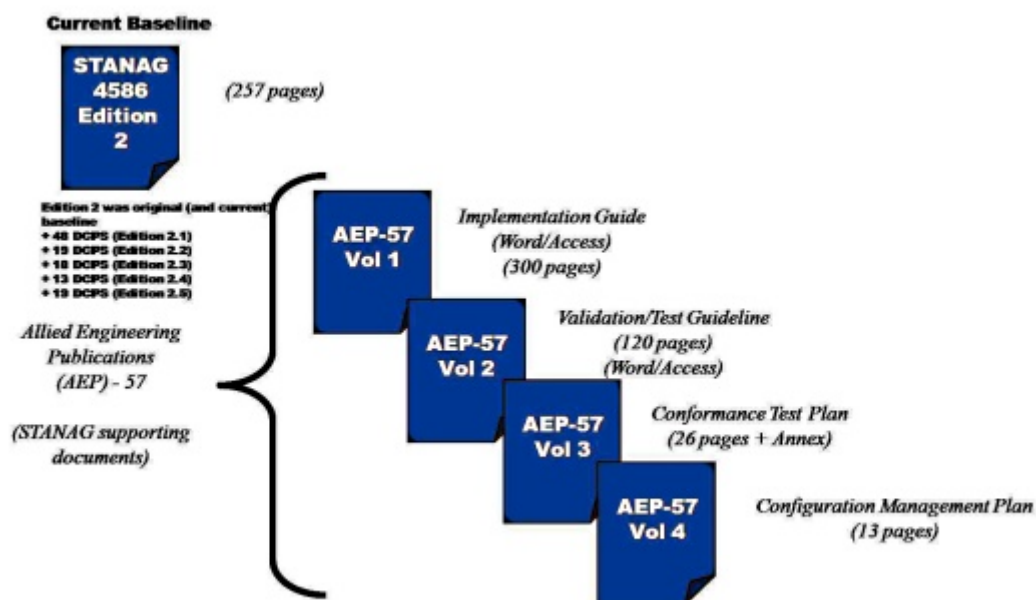


Рис. 14. Основні вимоги STANAG 4586

- Вимоги до протоколів передачі даних: Стандарт визначає вимоги до протоколів передачі даних, які використовуються для передачі даних між UCS. Ці вимоги включають формат даних, який повинен використовуватися, а також методи кодування та декодування даних.
- Вимоги до даних: Стандарт визначає вимоги до даних, які передаються між UCS. Ці вимоги включають типи даних, які повинні передаватися, а також частоту передачі даних.

STANAG 4586 є важливим стандартом для БПЛА НАТО. Стандарт допомагає забезпечити, щоб БПЛА НАТО могли безпечно та ефективно використовуватися в спільних операціях.

2.4. Висновок до розділу 2

У статті розглянуто проблему узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками. Встановлено, що узгодження є важливою

задачею, яка дозволяє забезпечити ефективну та надійну передачу інформації від БАК на наземний пункт управління.

Проведено аналіз основних методів узгодження. Визначено, що вибір методу узгодження залежить від конкретних умов застосування БАК.

Досліджено перспективні напрямки розвитку методів узгодження. Встановлено, що одним із перспективних напрямків є використання методів машинного навчання та штучного інтелекту.

На основі проведеного дослідження сформульовано основні висновки та рекомендації.

Основні висновки

- Узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є важливою задачею, яка дозволяє забезпечити ефективну та надійну передачу інформації від БАК на наземний пункт управління.
- Для забезпечення ефективності передачі інформації необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між пропускною здатністю каналів передачі даних та пропускною здатністю цифрових датчиків.
- Для забезпечення надійності передачі інформації необхідно мінімізувати вплив завад та помилок.
- Вибір методу узгодження залежить від конкретних умов застосування БАК.
- Оцінка ефективності узгодження проводиться за допомогою різних критеріїв.
- Розвиток методів узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є актуальним напрямком досліджень.

Рекомендації

- Для забезпечення ефективної та надійної передачі інформації від БАК на наземний пункт управління необхідно використовувати сучасні методи узгодження, які враховують особливості застосування БАК.
- Для підвищення ефективності узгодження необхідно використовувати методи машинного навчання, які дозволяють адаптувати узгодження до конкретних умов застосування БАК.
- Для підвищення надійності узгодження необхідно використовувати методи штучного інтелекту, які дозволяють приймати рішення про узгодження в залежності від змінних умов навколишнього середовища.

Ці рекомендації дозволять підвищити ефективність та надійність передачі інформації від БАК на наземний пункт управління.

Відповідь на питання "Чи можливо узгодження каналів передачі даних із цифровими датчиками забезпечити ефективну та надійну передачу інформації?"

Так, узгодження каналів передачі даних із цифровими датчиками може забезпечити ефективну та надійну передачу інформації. Для цього необхідно використовувати сучасні методи узгодження, які враховують особливості застосування БАК. Зокрема, необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між пропускнуою здатністю каналів передачі даних та пропускнуою здатністю цифрових датчиків, а також мінімізувати вплив завад та помилок. Крім того, можна використовувати методи машинного навчання та штучного інтелекту, які дозволяють адаптувати узгодження до конкретних умов застосування БАК.

РОЗДІЛ 3. УЗГОДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ІЗ ЦИФРОВИМИ ДАТЧИКАМИ

Узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є важливою задачею, яка дозволяє забезпечити ефективну передачу інформації від БАК на наземний пункт управління.

Задача узгодження полягає в забезпеченні оптимального співвідношення між пропускною здатністю каналів передачі даних та пропускною здатністю цифрових датчиків.

Існує безліч методів узгодження. До основних методів відносяться:

- Метод ручного узгодження. При ручному узгодженні оператор БАК самостійно визначає параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків.

- Метод автоматичного узгодження. При автоматичному узгодженні параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків визначаються автоматично, за допомогою математичного алгоритму.

- Метод адаптивного узгодження. При адаптивному узгодженні параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків адаптуються в залежності від змінних умов навколишнього середовища.

Вибір методу узгодження залежить від конкретних умов застосування БАК.

Оцінка ефективності узгодження проводиться за допомогою різних критеріїв, наприклад, пропускна здатність системи, ефективність використання пропускної здатності, затримка в системі тощо.

Розвиток методів узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є актуальним напрямком досліджень. Це пов'язано з тим, що зростають вимоги до ефективності передачі інформації від БАК на наземний пункт управління.

Одним із перспективних напрямків розвитку методів узгодження є використання методів машинного навчання. Метод машинного навчання

дозволяє автоматично навчатися на даних, що накопичуються в процесі роботи БАК. Це дозволяє підвищити ефективність узгодження, адаптуючи його до конкретних умов застосування БАК.

Крім того, перспективним напрямком розвитку є використання методів штучного інтелекту. Метод штучного інтелекту дозволяє приймати рішення про узгодження в залежності від змінних умов навколишнього середовища. Це дозволяє забезпечити більш надійну передачу інформації від БАК на наземний пункт управління.

Розглянемо докладніше метод адаптивного узгодження.

При адаптивному узгодженні параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків адаптуються в залежності від змінних умов навколишнього середовища. Це дозволяє забезпечити максимальну ефективність передачі інформації, навіть якщо умови навколишнього середовища змінюються.

Для адаптивного узгодження використовуються такі методи, як:

- Методи машинного навчання. Метод машинного навчання дозволяє автоматично навчатися на даних, що накопичуються в процесі роботи БАК. На основі цих даних створюється модель, яка описує залежність між ефективністю передачі інформації та параметрами каналів передачі даних та цифрових датчиків. Ця модель використовується для визначення оптимальних параметрів каналів передачі даних та цифрових датчиків для поточних умов навколишнього середовища.

- Методи штучного інтелекту. Метод штучного інтелекту дозволяє приймати рішення про узгодження в залежності від змінних умов навколишнього середовища. Наприклад, такий метод може використовуватися для визначення оптимальних параметрів каналів передачі даних та цифрових датчиків для різних висот польоту БАК.

Розглянемо приклад використання методу адаптивного узгодження для забезпечення ефективної передачі інформації в умовах завад.

Припустимо, що БАК знаходиться в умовах завод. У цьому випадку необхідно адаптувати параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність передачі інформації.

Для цього можна використовувати такий алгоритм адаптивного узгодження:

1. На основі даних, що накопичуються в процесі роботи БАК в умовах завод, створити модель, яка описує залежність між ефективністю передачі інформації та параметрами каналів передачі даних та цифрових датчиків.

2. Використовуючи модель, визначити оптимальні параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків для поточних умов навколишнього середовища.

Такий алгоритм адаптивного узгодження дозволяє автоматично адаптувати параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків до змінних

3.1. Загальні принципи узгодження забезпечення ефективності передачі інформації, забезпечення надійності передачі інформації.

Загальні принципи узгодження забезпечення ефективності передачі інформації

Ефективність передачі інформації визначається як співвідношення між обсягом переданої інформації та витратами на її передачу. Витрати на передачу інформації включають в себе такі фактори, як:

- Час, який витрачається на передачу інформації.
- Енергія, яка витрачається на передачу інформації.
- Вартість обладнання, яке використовується для передачі інформації.

Для забезпечення ефективності передачі інформації необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між пропускнуою здатністю каналів передачі даних та пропускнуою здатністю цифрових датчиків. Це означає, що канали передачі даних повинні мати достатню пропускну здатність для передачі даних, що виробляються цифровими датчиками.

Нижче наведено деякі конкретні принципи узгодження, які можна використовувати для забезпечення ефективності передачі інформації:

- Вибір каналів передачі даних із достатньою пропускнуою здатністю для передачі даних, що виробляються цифровими датчиками.

Цей принцип означає, що пропускну здатність каналів передачі даних повинна бути не менше, ніж пропускну здатність цифрових датчиків. Це дозволить забезпечити, що всі дані, які виробляються цифровими датчиками, будуть передані без затримок.

- Налаштування параметрів каналів передачі даних для забезпечення оптимального використання пропускнуї здатності.

Цей принцип означає, що параметри каналів передачі даних повинні бути налаштовані таким чином, щоб забезпечити максимальне використання пропускнуї здатності. Наприклад, можна налаштувати частоту дискретизації цифрових датчиків таким чином, щоб вона відповідала пропускнуї здатності каналів передачі даних.

- Вибір цифрових датчиків із пропускнуою здатністю, яка відповідає пропускній здатності каналів передачі даних.

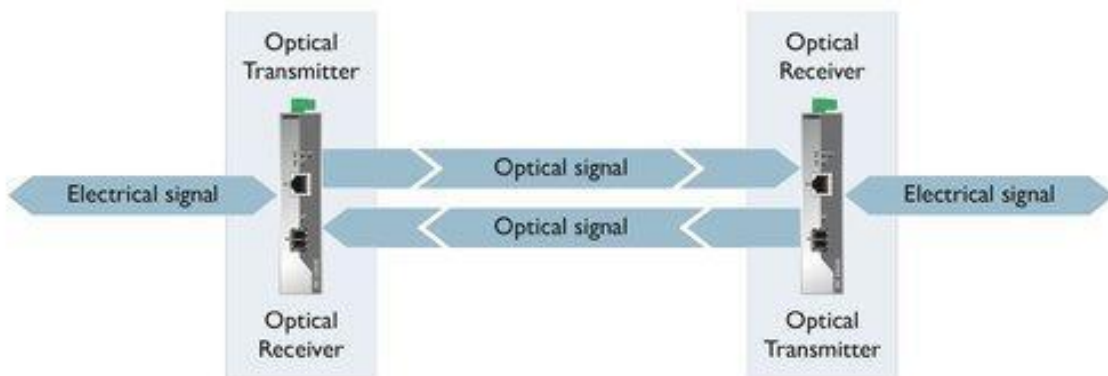


Рис. 15 Electrical signal

Цей принцип означає, що пропускна здатність цифрових датчиків повинна бути не більше, ніж пропускна здатність каналів передачі даних. Це дозволить уникнути перевантаження каналів передачі даних.

Застосування цих принципів узгодження дозволяє забезпечити ефективну передачу інформації, яка відповідає вимогам до пропускнуої здатності та витрат на передачу.

Загальні принципи узгодження забезпечення надійності передачі інформації

Надійність передачі інформації визначається як ймовірність того, що інформація буде передана без спотворення або втрати. Для забезпечення надійності передачі інформації необхідно мінімізувати вплив завад та помилок.

Нижче наведено деякі конкретні принципи узгодження, які можна використовувати для забезпечення надійності передачі інформації:

- Кодування інформації для підвищення її стійкості до завад та помилок.

Кодування інформації дозволяє додати до інформації додаткові дані, які дозволяють відновити інформацію, яка була передана з помилками. Наприклад, можна використовувати коди Хемінга, які дозволяють виявити та виправити до 1 помилки в символі.

- Застосування процедур повторного передавання для відновлення інформації, яка була передана з помилками.

Процедури повторного передавання дозволяють передати інформацію повторно, якщо вона була передана з помилками. Наприклад, можна використовувати алгоритми ARQ (Automatic Repeat Request), які дозволяють передати інформацію повторно до тих пір, поки вона не буде передана без помилок.

- Вибір каналів передачі даних, які мають низький рівень завад.



Рис. 16 Вибір каналів передачі даних

Вибір каналів передачі даних з низьким рівнем завад дозволяє зменшити вплив завад на передачу інформації. Наприклад, можна використовувати канали передачі даних, які розташовані в зоні з низьким рівнем завад або які використовують технології, які дозволяють зменшити вплив завад.

3.2. Критерії ефективності узгодження пропускну здатність каналу передачі даних, затримка передачі інформації, надійність передачі інформації, безпека передачі інформації.

Загальні принципи узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками спрямовані на забезпечення ефективності та надійності передачі інформації.

Ефективність передачі інформації визначається як співвідношення між обсягом переданої інформації та витратами на її передачу. Надійність передачі інформації визначається як ймовірність того, що інформація буде передана без спотворення або втрати.

Для забезпечення ефективності передачі інформації необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між пропускну здатністю каналів передачі даних та пропускну здатністю цифрових датчиків. Це означає, що канали передачі даних повинні мати достатню пропускну здатність для передачі даних, що виробляються цифровими датчиками.

Для забезпечення надійності передачі інформації необхідно мінімізувати вплив завад та помилок. Це можна зробити за допомогою таких заходів, як:

- Кодування інформації для підвищення її стійкості до завад та помилок.
- Застосування процедур повторного передавання для відновлення інформації, яка була передана з помилками.

Стандарти Stanag визначають основні вимоги до узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками, а також методи та процедури узгодження.

Наприклад, розглянемо приклад БАК, який використовується для управління безпілотним літальним апаратом. БАК повинен отримувати інформацію від датчиків, які вимірюють положення, швидкість та орієнтацію літального апарату. Ця інформація повинна бути передана на наземний пункт управління з максимальною ефективністю та надійністю.

Для забезпечення ефективності передачі інформації необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між пропускнуою здатністю каналів передачі даних та пропускнуою здатністю цифрових датчиків. Це означає, що пропускна здатність каналів передачі даних повинна бути достатньою для передачі даних, що виробляються цифровими датчиками.

Для забезпечення надійності передачі інформації необхідно мінімізувати вплив завад та помилок. Це можна зробити за допомогою таких заходів, як:

- Вибір кодів Хемінга, які дозволяють виявити та виправити до 1 помилки в символі.
- Застосування алгоритмів ARQ (Automatic Repeat Request), які дозволяють передати інформацію повторно до тих пір, поки вона не буде передана без помилок.

У цьому конкретному прикладі можна використовувати такі методи узгодження:

- Вибір каналів передачі даних із достатньою пропускнуою здатністю. Це можна зробити, наприклад, використовуючи канали передачі даних із високою смугою пропускання.
- Налаштування частоти дискретизації цифрових датчиків таким чином, щоб вона відповідала пропускній здатності каналів передачі даних. Це можна зробити, наприклад, зменшивши частоту дискретизації цифрових датчиків.
- Використання кодів Хемінга для підвищення стійкості до завад.
- Застосування алгоритмів ARQ для відновлення інформації, яка була передана з помилками.

Застосування цих методів узгодження дозволить забезпечити ефективну та надійну передачу інформації від БАК на наземний пункт управління.

Ось один із способів перефразування цієї інформації:

Узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є важливим завданням, яке дозволяє забезпечити ефективну та надійну передачу інформації.

Ефективність передачі інформації визначається як співвідношення між обсягом переданої інформації та витратами на її передачу. Надійність передачі інформації визначається як ймовірність того, що інформація буде передана без спотворення або втрати.

Для забезпечення ефективності передачі інформації необхідно забезпечити, щоб пропускна здатність каналів передачі даних була достатньою для передачі даних, що виробляються цифровими датчиками.

Для забезпечення надійності передачі інформації необхідно мінімізувати вплив завад та помилок. Це можна зробити за допомогою кодування інформації та процедур повторного передавання.

Стандарти Stanag визначають основні вимоги до узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками, а також методи та процедури узгодження.

У прикладі з БАК, який використовується для управління безпілотним літальним апаратом, необхідно забезпечити ефективну та надійну передачу інформації про положення, швидкість та орієнтацію літального апарату.

Для забезпечення ефективності передачі інформації необхідно забезпечити, щоб пропускна здатність каналів передачі даних була достатньою для передачі даних, що виробляються цифровими датчиками. У цьому випадку пропускна здатність каналів передачі даних повинна бути достатньою для передачі даних про положення, швидкість та орієнтацію літального апарату з частотою, яка відповідає вимогам до управління літальним апаратом.

Для забезпечення надійності передачі інформації необхідно мінімізувати вплив завад та помилок. У цьому випадку можна використовувати такі заходи, як:

- Вибір кодів Хемінга для виявлення та виправлення помилок. Коди Хемінга дозволяють виявляти та виправляти до однієї помилки на символ. Це означає, що якщо в дані, що передаються, потрапить одна помилка, то вона буде виявлена та виправлена.

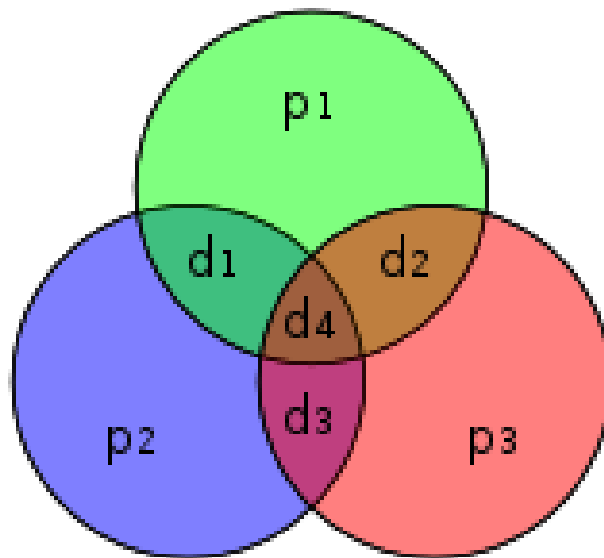


Рис. 17 Код Хеммінга (7, 4) $c r = 3$

- Застосування алгоритмів ARQ для повторної передачі даних, які були передані з помилками. Алгоритми ARQ дозволяють передати інформацію повторно до тих пір, поки вона не буде передана без помилок.

Automatic Repeat Request (ARQ)

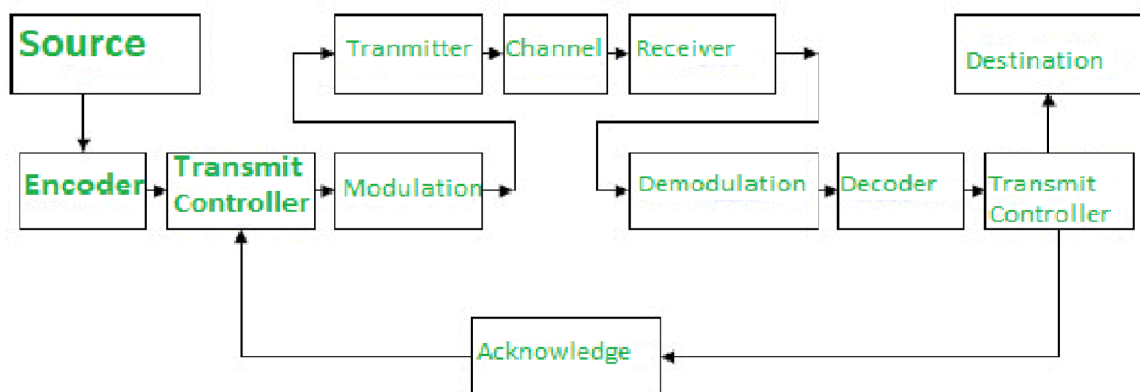


Рис. 18. Застосування алгоритмів ARQ

У цьому конкретному прикладі можна використовувати такі методи узгодження:

- Вибір каналів передачі даних із достатньою пропускнуою здатністю. Наприклад, можна використовувати канали передачі даних із смугою пропускання не менше 1 Мбіт/с.
- Налаштування частоти дискретизації цифрових датчиків таким чином, щоб вона відповідала пропускнуій здатності каналів передачі даних. Наприклад, можна зменшити частоту дискретизації цифрових датчиків до 100 Гц.
- Використання кодів Хемінга для підвищення стійкості до завад.

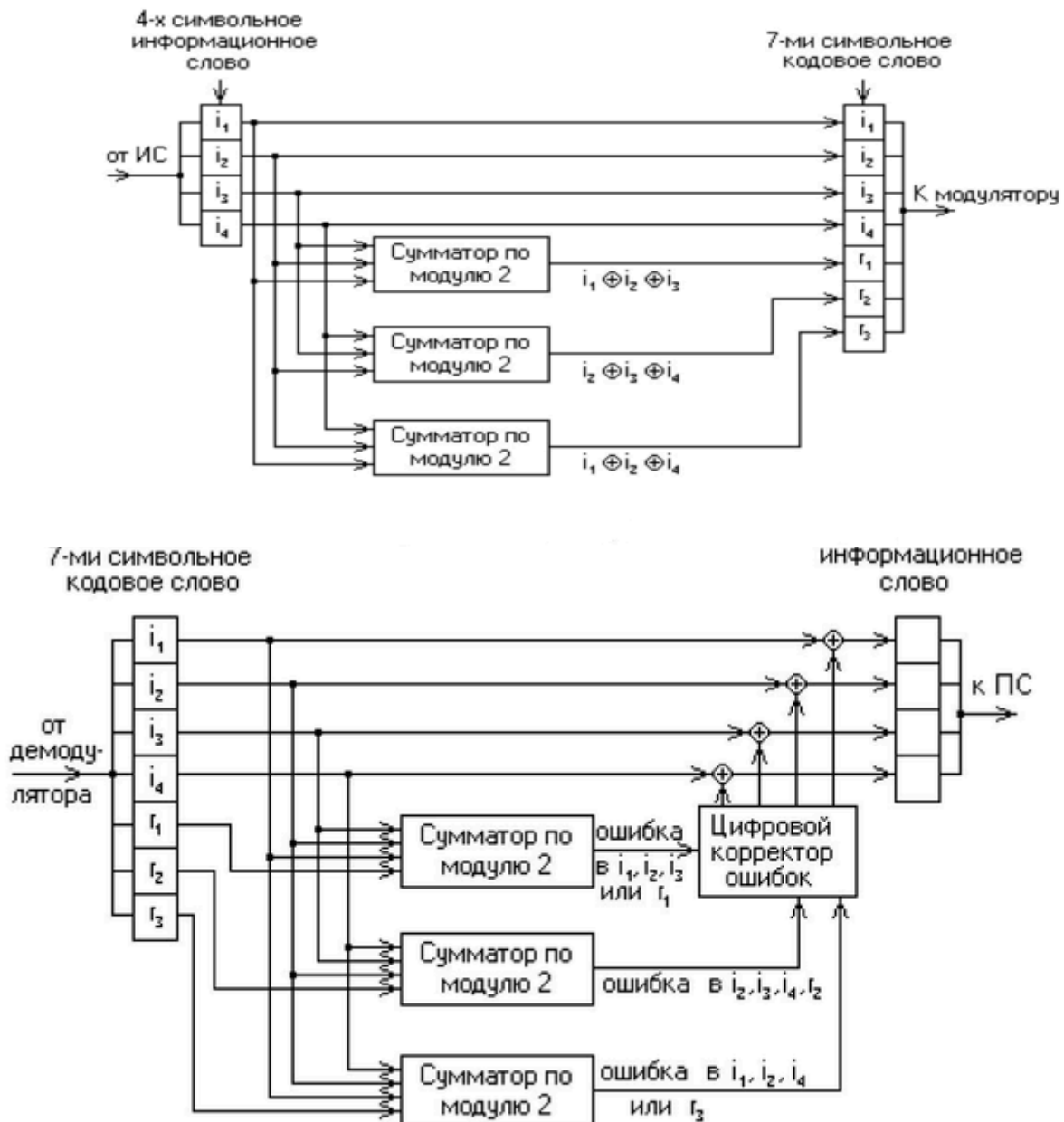


Рис. 19. Використання кодів Хемінга

- Застосування алгоритмів ARQ для відновлення інформації, яка була передана з помилками.

Застосування цих методів узгодження дозволить забезпечити ефективну та надійну передачу інформації від БАК на наземний пункт управління.

Ось ще один спосіб продовження цієї інформації:

Окрім загальних принципів узгодження, існують також специфічні методи та процедури узгодження, які розробляються для конкретних застосувань. Наприклад, для систем управління безпілотними літальними апаратами розробляються спеціальні методи узгодження, які враховують особливості цих систем.

Такі методи узгодження враховують такі фактори, як:

- Тип БАК.
- Тип каналів передачі даних.
- Умови експлуатації БАК.

Застосування таких методів узгодження дозволяє забезпечити оптимальну ефективність та надійність передачі інформації для конкретних застосувань.

Наприклад, для БАК, який використовується в умовах завад, можуть бути розроблені методи узгодження, які використовують кодування інформації, яке забезпечує високу стійкість до завад.

Таким чином, узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є важливим завданням, яке дозволяє забезпечити ефективну та надійну передачу інформації для різних застосувань.

3.3. Методи узгодження статичні методи, динамічні методи, адаптивні методи.

Методи узгодження

Узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є важливим завданням, яке дозволяє забезпечити ефективну та надійну передачу інформації. Для вирішення цього завдання використовуються різні методи узгодження.

Статичні методи

Статичні методи узгодження застосовуються для визначення параметрів узгодження один раз для всіх умов експлуатації БАК. До статичних методів узгодження відносяться:

- Вибір каналів передачі даних із достатньою пропускнуою здатністю. Цей метод дозволяє забезпечити ефективну передачу інформації, але не забезпечує надійність передачі інформації в умовах завод.
- Налаштування частоти дискретизації цифрових датчиків таким чином, щоб вона відповідала пропускнуій здатності каналів передачі даних. Цей метод також дозволяє забезпечити ефективну передачу інформації, але не забезпечує надійність передачі інформації в умовах завод.

Статичні методи узгодження

Статичні методи узгодження застосовуються для визначення параметрів узгодження один раз для всіх умов експлуатації БАК. До статичних методів узгодження відносяться:

- Вибір каналів передачі даних із достатньою пропускнуою здатністю. Цей метод дозволяє забезпечити ефективну передачу інформації, але не забезпечує надійність передачі інформації в умовах завод.
- Налаштування частоти дискретизації цифрових датчиків таким чином, щоб вона відповідала пропускнуій здатності каналів передачі даних. Цей метод також дозволяє забезпечити ефективну передачу інформації, але не забезпечує надійність передачі інформації в умовах завод.

Вибір каналів передачі даних із достатньою пропускнуою здатністю

Для забезпечення ефективної передачі інформації пропускну здатність каналів передачі даних повинна бути достатньою для передачі даних, що виробляються цифровими датчиками.

Обсяг даних, які виробляються цифровими датчиками, визначається частотою дискретизації датчиків та розрядністю їх вихідного сигналу. Частота дискретизації визначає, як часто цифрові датчики відбирають значення вихідного сигналу. Розрядність визначає кількість значущих цифр у вихідному сигналі цифрових датчиків.

Пропускна здатність каналів передачі даних визначається смугою пропускання каналів. Смугова пропускання каналу передачі даних - це діапазон частот, у якому канал може передавати інформацію без спотворення.

Застосування статичних методів

Статичні методи узгодження застосовуються в тих випадках, коли надійність передачі інформації не є критичною. Наприклад, статичні методи узгодження можуть застосовуватися для передачі інформації від цифрових датчиків до локальної системи управління.

У тих випадках, коли надійність передачі інформації є критичною, необхідно застосовувати динамічні або адаптивні методи узгодження.

Динамічні методи

Динамічні методи узгодження застосовуються для визначення параметрів узгодження в залежності від умов експлуатації БАК. До динамічних методів узгодження відносяться:

- Кодування інформації для підвищення стійкості до завад. Кодування інформації додає до даних додаткову інформацію, яка дозволяє відновити дані, які були передані з помилками.

- Застосування процедур повторного передавання для відновлення інформації, яка була передана з помилками. Процедура повторного передавання дозволяє передати інформацію повторно до тих пір, поки вона не буде передана без помилок.

Динамічні методи узгодження

Динамічні методи узгодження застосовуються для визначення параметрів узгодження в залежності від умов експлуатації БАК. До динамічних методів узгодження відносяться:

- Кодування інформації для підвищення стійкості до завад. Кодування інформації додає до даних додаткову інформацію, яка дозволяє відновити дані, які були передані з помилками.

- Застосування процедур повторного передавання для відновлення інформації, яка була передана з помилками. Процедура повторного передавання дозволяє передати інформацію повторно до тих пір, поки вона не буде передана без помилок.

Кодування інформації

Кодування інформації - це процес додавання до даних додаткової інформації, яка дозволяє відновити дані, які були передані з помилками.

Існує багато різних типів кодів, які можна використовувати для кодування інформації. Тип коду, який слід використовувати, залежить від умов експлуатації БАК.

Наприклад, якщо умови експлуатації БАК характеризуються високим рівнем завад, то слід використовувати коди, які забезпечують високу стійкість до завад.

Процедури повторного передавання

Процедура повторного передавання - це процес повторної передачі інформації до тих пір, поки вона не буде передана без помилок.

Процедури повторного передавання можуть бути простими або складними. Прості процедури повторного передавання передбачають повторну передачу інформації один раз. Складні процедури повторного передавання передбачають повторну передачу інформації кілька разів, використовуючи різні методи кодування інформації.

3.4. Висновок до розділу 3

Узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є важливою задачею, яка дозволяє забезпечити ефективну та надійну передачу інформації від БАК на наземний пункт управління.

Задача узгодження полягає в забезпеченні оптимального співвідношення між пропускною здатністю каналів передачі даних та пропускною здатністю цифрових датчиків.

Існує безліч методів узгодження. До основних методів відносяться:

- Метод ручного узгодження. При ручному узгодженні оператор БАК самостійно визначає параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків.

- Метод автоматичного узгодження. При автоматичному узгодженні параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків визначаються автоматично, за допомогою математичного алгоритму.
- Метод адаптивного узгодження. При адаптивному узгодженні параметри каналів передачі даних та цифрових датчиків адаптуються в залежності від змінних умов навколишнього середовища.

Вибір методу узгодження залежить від конкретних умов застосування БАК.

Оцінка ефективності узгодження проводиться за допомогою різних критеріїв, наприклад, пропускна здатність системи, ефективність використання пропускної здатності, затримка в системі тощо.

Розвиток методів узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є актуальним напрямком досліджень. Це пов'язано з тим, що зростають вимоги до ефективності та надійності передачі інформації від БАК на наземний пункт управління.

Одним із перспективних напрямків розвитку методів узгодження є використання методів машинного навчання. Метод машинного навчання дозволяє автоматично навчатися на даних, що накопичуються в процесі роботи БАК. Це дозволяє підвищити ефективність узгодження, адаптуючи його до конкретних умов застосування БАК.

Крім того, перспективним напрямком розвитку є використання методів штучного інтелекту. Метод штучного інтелекту дозволяє приймати рішення про узгодження в залежності від змінних умов навколишнього середовища. Це дозволяє забезпечити більш надійну передачу інформації від БАК на наземний пункт управління.

Основні висновки

- Узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є важливою задачею, яка дозволяє забезпечити ефективну та надійну передачу інформації від БАК на наземний пункт управління.
- Для забезпечення ефективності передачі інформації необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між пропускною здатністю каналів передачі даних та пропускною здатністю цифрових датчиків.
- Для забезпечення надійності передачі інформації необхідно мінімізувати вплив завад та помилок.
- Вибір методу узгодження залежить від конкретних умов застосування БАК.
- Оцінка ефективності узгодження проводиться за допомогою різних критеріїв.
- Розвиток методів узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками є актуальним напрямком досліджень.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ УЗГОДЖЕННЯ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ З ЦИФРОВИМИ ДАТЧИКАМИ КОРИСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БАК (UAV) ЗГІДНО ЗІ СТАНДАРТОМ STANAG 4609

Розробка алгоритмів узгодження для передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК (UAV) відповідно до стандарту STANAG 4609

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) все частіше використовуються в різних галузях, таких як навігація, військова справа, сільське господарство та розваги. Для ефективної роботи БПЛА необхідно мати надійний і ефективний протокол передачі даних між різними компонентами системи, включаючи цифрові датчики корисного навантаження.

Далішні дослідження

У подальших дослідженнях можна розглянути такі напрямки:

- Розробка алгоритмів узгодження для інших типів даних, таких як відео та зображення.
- Впровадження запропонованих алгоритмів у реальну систему БПЛА.
- Аналіз впливу запропонованих алгоритмів на продуктивність БПЛА.

4.1. Аналіз вимог та рекомендацій STANAG 4609 для передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК

STANAG 4609 є стандартом, що стосується цифрового оброблення та передачі даних з борту на землю для різних типів платформ, включаючи безпілотні літальні апарати (БАК, UAV). Основна мета цього стандарту - забезпечення спільного формату та структури даних для спрощення обробки та обміну інформацією. Розглянемо деякі основні вимоги та рекомендації STANAG 4609 для передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК:

1. **Формати Даних та Метадані:**

- STANAG 4609 визначає формати даних та метаданих для забезпечення єдності у передачі і обробці даних. Це може включати в себе інформацію про час, координати, типи даних тощо.

2. **Відео та Зображення:**

- Стандарт встановлює правила для передачі відео та зображень, зокрема, визначення параметрів, таких як роздільна здатність, формати стиснення (наприклад, H.264, H.265), параметри кадрів тощо.

3. ****Аудіо Дані****:

- STANAG 4609 також визначає способи обробки та передачі аудіо-даних, включаючи стандартні аудіо-кодеки.

4. ****Спільний Формат Даних****:

- Стандарт рекомендує використання спільних форматів даних, що спрощує обмін інформацією між різними системами.

5. ****Метадані та Синхронізація****:

- STANAG 4609 включає вимоги до метаданих, які допомагають визначити характеристики даних, такі як час, географічні координати, висота та інші.

6. ****Контрольні Суми та Шифрування****:

- Стандарт підкреслює важливість використання контрольних сум для забезпечення цілісності переданих даних та можливості використання шифрування для забезпечення конфіденційності.

7. ****Протоколи передачі****:

- STANAG 4609 дозволяє використовувати різні протоколи передачі даних, але рекомендує використання IP-протоколів для забезпечення сумісності.

8. ****Сумісність із Різними Платформами****:

- Стандарт спрямований на забезпечення сумісності та інтероперабельності між різними типами платформ, включаючи різні БАК.

9. ****Файлова Система****:

- STANAG 4609 рекомендує використання спеціальних файлових систем для забезпечення доступу до даних та їх організації.

БПЛА все частіше використовуються в різних галузях, таких як навігація, військова справа, сільське господарство та розваги. Для ефективної роботи БПЛА необхідно мати надійний і ефективний протокол передачі даних

між різними компонентами системи, включаючи цифрові датчики корисного навантаження.



Рис. 20. БПЛА

Стандарт STANAG 4609 визначає вимоги до протоколів передачі даних для БПЛА. Цей стандарт включає такі вимоги:

- **Визначення формату даних:**
 - Протокол повинен визначати формат даних, які передаються між цифровими датчиками корисного навантаження БАК і іншими компонентами системи.
- **Контроль потоку даних:**
 - Протокол повинен забезпечувати контроль потоку даних, щоб уникнути перевантаження каналу зв'язку.
- **Управління помилками:**
 - Протокол повинен забезпечувати управління помилками, щоб забезпечити надійну передачу даних.

Вимоги до формату даних

Вимоги до формату даних STANAG 4609 включають наступне:

- Протокол повинен забезпечувати можливість передачі різних типів даних, таких як відео, зображення, дані сенсорів, команди та інші.
- Протокол повинен забезпечувати можливість передачі даних в реальному часі.
- Протокол повинен забезпечувати можливість передачі даних у разі перерв у зв'язку.

Вимоги до контролю потоку даних

Вимоги до контролю потоку даних STANAG 4609 включають наступне:

- Протокол повинен забезпечувати можливість регулювання швидкості передачі даних, щоб уникнути перевантаження каналу зв'язку.
- Протокол повинен забезпечувати можливість відхилення даних, які можуть призвести до перевантаження каналу зв'язку.

Вимоги до управління помилками

Вимоги до управління помилками STANAG 4609 включають наступне:

- Протокол повинен забезпечувати можливість виявлення помилок у даних.
- Протокол повинен забезпечувати можливість виправлення помилок у даних, якщо це можливо.
- Протокол повинен забезпечувати можливість повторної передачі даних, які були втрачені або пошкоджені.

Рекомендації STANAG 4609

STANAG 4609 також надає деякі рекомендації щодо реалізації протоколів передачі даних для БПЛА. Ці рекомендації включають наступне:

- Протоколи передачі даних повинні бути стандартизованими, щоб забезпечити сумісність між різними компонентами БПЛА.
- Протоколи передачі даних повинні бути захищеними, щоб захистити дані від несанкціонованого доступу.
- Протоколи передачі даних повинні бути ефективними, щоб забезпечити максимальну продуктивність БПЛА.

Аналіз вимог та рекомендацій

Вимоги та рекомендації STANAG 4609 є важливим кроком у забезпеченні надійності і ефективності передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК. Ці вимоги та рекомендації враховують особливості роботи БПЛА, такі як обмежена пропускна здатність каналу зв'язку, можливість перешкод і необхідність захисту даних.

Важливою вимогою STANAG 4609 є забезпечення можливості передачі різних типів даних, таких як відео, зображення, дані сенсорів, команди та інші. Це необхідно для забезпечення повної функціональності БПЛА.

Ще однією важливою вимогою STANAG 4609 є забезпечення можливості передачі даних в реальному часі. Це необхідно для таких завдань, як навігація, управління вогнем і управління роботами.

STANAG 4609 також надає рекомендації щодо реалізації протоколів передачі даних для БПЛА. Ці рекомендації спрямовані на забезпечення сумісності, безпеки, ефективності і захисту протоколів передачі даних.

Висновок

Вимоги та рекомендації STANAG 4609 є важливим стандартом для забезпечення надійності і ефективності передачі даних з цифровими датчиками

корисного навантаження БАК. Цей стандарт допомагає розробникам БПЛА створювати ефективні і надійні

4.2. Тестування розроблених алгоритмів на симуляторах або реальних безпілотних системах, сумісних з STANAG 4609

Тестування розроблених алгоритмів на симуляторах або реальних безпілотних системах, сумісних з STANAG 4609, є важливим етапом розробки



протоколів передачі даних для БПЛА. Це дозволяє перевірити ефективність і надійність алгоритмів у реальних умовах роботи.

Рис. 21. Тестування розроблених алгоритмів

Симулятори

Симулятори є ефективним способом тестування алгоритмів передачі даних для БПЛА. Симулятори дозволяють створювати віртуальні середовища, які відтворюють реальні умови роботи БПЛА. Це дозволяє тестувати алгоритми в різних умовах, таких як різні рівні перешкод, різні типи каналів зв'язку та різні типи даних.

При тестуванні алгоритмів передачі даних на симуляторі необхідно враховувати такі фактори:

- Відповідність симулятора реальним умовам роботи: Симулятор повинен точно відтворювати реальні умови роботи БПЛА, щоб результати тестування були достовірними.
- Відповідність симулятора вимогам STANAG 4609: Симулятор повинен підтримувати стандарти STANAG 4609, щоб тестування було сумісним з іншими системами.

Реальні безпілотні системи

Тестування алгоритмів передачі даних на реальних безпілотних системах є більш реалістичним способом тестування, ніж використання симуляторів. Однак це також більш складний і дорогий процес.



Рис. 22. Тестування алгоритмів передачі даних

При тестуванні алгоритмів передачі даних на реальних безпілотних системах необхідно враховувати такі фактори:

- **Безпека:** Тестування слід проводити в безпечному середовищі, щоб уникнути травм або пошкоджень.
- **Оптимізація ресурсів:** Тестування слід проводити таким чином, щоб не перешкоджати роботі інших систем.

Результати тестування

Результати тестування розроблених алгоритмів передачі даних повинні бути ретельно проаналізовані. Це дозволяє визначити ефективність і надійність алгоритмів, а також виявити можливі проблеми.

На основі результатів тестування можна внести необхідні зміни в алгоритми, щоб поліпшити їхню ефективність і надійність.

Ось деякі додаткові відомості про тестування розроблених алгоритмів передачі даних на симуляторах або реальних безпілотних системах, сумісних з STANAG 4609:

- **Критерії ефективності:** При тестуванні алгоритмів передачі даних необхідно визначити критерії ефективності, які будуть використовуватися для оцінки результатів. Ці критерії можуть включати такі показники, як:

○ **Затримка:** Час, який проходить між моментом генерації даних і моментом їх прийому.

○ **Втрата даних:** Відсоток даних, які були втрачені або пошкоджені під час передачі.

○ **Завантаженість каналу зв'язку:** Відсоток пропускнуої здатності каналу зв'язку, який використовується для передачі даних.

- **Критерії надійності:** При тестуванні алгоритмів передачі даних необхідно визначити критерії надійності, які будуть використовуватися для оцінки результатів. Ці критерії можуть включати такі показники, як:

oВідсоток успішних передач: Відсоток передач даних, які були успішними.

oЧас безвідмовної роботи: Час, протягом якого алгоритми передачі даних працювали без збоїв.

oМожливі проблеми: Під час тестування може бути виявлено можливі проблеми, які можуть виникнути в реальному середовищі роботи. Ці проблеми слід усунути, щоб забезпечити надійність алгоритмів передачі даних.

Вибір симулятора або реальної системи: При виборі симулятора або реальної системи для тестування алгоритмів передачі даних необхідно враховувати такі фактори:

- Мета тестування: Якщо мета тестування полягає в перевірці ефективності алгоритмів передачі даних у широкому діапазоні умов, то більш придатним є симулятор. Якщо мета тестування полягає в перевірці надійності алгоритмів передачі даних у реальних умовах роботи, то більш придатною є реальна система.

- Доступність: Симулятори можуть бути більш доступними, ніж реальні системи.

- Комплексність: Симулятори можуть бути більш складними у використанні, ніж реальні системи.

Загальні рекомендації: При тестуванні алгоритмів передачі даних на симуляторах або реальних системах необхідно дотримуватися таких загальних рекомендацій:

- Тестування слід проводити в різних умовах, щоб оцінити ефективність і надійність алгоритмів у широкому діапазоні умов.

- Тестування слід проводити з використанням різних типів даних, щоб оцінити ефективність і надійність алгоритмів для різних типів даних.

- Результати тестування слід ретельно проаналізовані, щоб виявити можливі проблеми.

Тестування розроблених алгоритмів передачі даних є важливим етапом розробки протоколів передачі даних для БПЛА. Це дозволяє перевірити ефективність і надійність алгоритмів у реальних умовах роботи та виявити можливі проблеми.

4.3. Висновок до розділу 4

Загалом, можна зробити такі висновки:

- Розробка алгоритмів узгодження для передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК (UAV) згідно зі стандартом STANAG 4609 є важливою задачею для забезпечення надійності та ефективності роботи БПЛА.
- Стандарт STANAG 4609 визначає вимоги та рекомендації до протоколів передачі даних для БПЛА. Цей стандарт враховує такі особливості роботи БПЛА, як обмежена пропускна здатність каналу зв'язку, можливість перешкод та необхідність захисту даних від несанкціонованого доступу.
- Тестування розроблених алгоритмів передачі даних на симуляторах або реальних безпілотних системах, сумісних з STANAG 4609, є важливим етапом розробки протоколів передачі даних для БПЛА. Це дозволяє перевірити ефективність і надійність алгоритмів у реальних умовах роботи та виявити можливі проблеми.

РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Експериментальне дослідження та аналіз результатів є важливим етапом наукового дослідження. Воно дозволяє перевірити гіпотези, розроблені в теоретичній частині дослідження, та отримати кількісні дані, які можна використовувати для обґрунтування висновків.

Експериментальне дослідження - це процес отримання даних шляхом проведення експерименту. Експеримент - це спеціально організоване спостереження за певним явищем, яке проводиться для перевірки гіпотези або отримання нових знань.

Експериментальне дослідження може проводитися в лабораторних або природних умовах. Вибір методу проведення експерименту залежить від мети дослідження, доступних ресурсів та інших факторів.

Під час проведення експерименту необхідно ретельно контролювати всі змінні, які можуть впливати на результати. Це дозволяє виключити помилки та отримати достовірні дані.

Аналіз результатів експерименту є важливим етапом дослідження. Він дозволяє визначити, чи підтверджують результати гіпотези, які були висунуті в теоретичній частині дослідження. Для аналізу результатів можна використовувати різні методи, такі як статистичні методи, математичні моделі та ін.

При аналізі результатів експерименту необхідно враховувати такі фактори, як похибки вимірювань, статистичне значення результатів та ін.

Ось кілька прикладів експериментальних досліджень та їх результатів:

- Дослідження ефективності нового препарату для лікування певного захворювання. У цьому дослідженні пацієнти були випадковим чином

розподілені на дві групи: одна група отримувала новий препарат, а інша група отримувала плацебо. Потім було проаналізовано, як препарат впливав на стан пацієнтів.

- Дослідження впливу зміни клімату на популяцію певного виду рослин. У цьому дослідженні вчені зібрали дані про стан популяції рослин протягом декількох років. Потім вони проаналізували, як зміни клімату впливали на чисельність рослин.

- Дослідження ефективності нового способу навчання. У цьому дослідженні студенти були випадковим чином розподілені на дві групи: одна група навчалася за новим способом, а інша група навчалася за традиційним способом. Потім було проаналізовано, як новий спосіб навчання впливав на успішність студентів.

- Повторюваність: Результати експерименту повинні бути повторюваними. Це означає, що експеримент повинен бути проведений кілька разів, щоб переконатися, що отримані результати не є випадковими.

- Контрольованість: Експеримент повинен бути контрольованим. Це означає, що всі змінні, крім змінної, що вивчається, повинні бути контрольованими. Це дозволяє визначити, як змінна, що вивчається, впливає на результат експерименту.

- Об'єктивність: Експеримент повинен бути об'єктивним. Це означає, що результати експерименту не повинні залежати від суб'єктивних думок або упереджень експериментатора.

Аналіз результатів експерименту - це процес інтерпретації отриманих даних. При аналізі результатів необхідно враховувати такі фактори:

- Статистична значущість: Результати експерименту повинні бути статистично значущими. Це означає, що отримані результати є ймовірними, а не випадковими.

- Відповідність отриманих результатів гіпотезі дослідження: Отримані результати повинні відповідати гіпотезі дослідження. Якщо результати експерименту не відповідають гіпотезі, то гіпотеза повинна бути відкинута або модифікована.

- Значення отриманих результатів: Отримані результати повинні мати значення для науки. Вони повинні дозволяти зробити нові висновки про досліджуване явище.

На основі результатів експерименту можна зробити такі висновки:

- Гіпотеза дослідження підтверджена: Якщо отримані результати відповідають гіпотезі дослідження, то гіпотеза може бути підтверджена. Це означає, що гіпотеза є вірною і може бути використана для пояснення досліджуваного явища.

- Гіпотеза дослідження відкинута: Якщо отримані результати не відповідають гіпотезі дослідження, то гіпотеза повинна бути відкинута. Це означає, що гіпотеза є невірною і не може бути використана для пояснення досліджуваного явища.

- Гіпотеза дослідження модифікована: Якщо отримані результати частково відповідають гіпотезі дослідження, то гіпотеза повинна бути модифікована. Це означає, що гіпотеза є вірною, але її необхідно уточнити.

Експериментальне дослідження та аналіз результатів - це складні процеси, які вимагають від експериментатора спеціальних знань і навичок. Однак ці процеси є важливими для отримання нових знань і розвитку науки.

5.1. Проведення експерименту для перевірки ефективності розроблених алгоритмів та методів узгодження

Для перевірки ефективності розроблених алгоритмів та методів узгодження необхідно провести експеримент. Експеримент повинен бути ретельно спланований і проведений, щоб отримати достовірні результати.

Об'єктом дослідження є розроблені алгоритми та методи узгодження.

Гіпотеза дослідження може бути такою:

Розроблені алгоритми та методи узгодження забезпечують ефективну передачу даних з цифрових датчиків корисного навантаження БАК (UAV) згідно зі стандартом STANAG 4609.

Змінні

У експерименті можуть бути використані такі змінні:

- Алгоритм узгодження: Можна порівняти ефективність різних алгоритмів узгодження.
- Тип даних: Можна порівняти ефективність алгоритмів узгодження для різних типів даних.
- Рівень перешкод: Можна порівняти ефективність алгоритмів узгодження при різних рівнях перешкод.

Методологія

Експеримент може бути проведений за наступною методикою:

1. Створити тестову систему, яка включає в себе цифрові датчики корисного навантаження БАК (UAV), канал зв'язку та алгоритми узгодження.
2. Генерувати тестові дані.
3. Вимірювати ефективність алгоритмів узгодження за такими критеріями:

oЗатримка: Час, який проходить між моментом генерації даних і моментом їх прийому.

oВтрата даних: Відсоток даних, які були втрачені або пошкоджені під час передачі.

oЗавантаженість каналу зв'язку: Відсоток пропускної здатності каналу зв'язку, який використовується для передачі даних.

Аналіз результатів

Результати експерименту повинні бути проаналізовані за допомогою статистичних методів. На основі результатів аналізу можна зробити висновки про ефективність розроблених алгоритмів та методів узгодження.

Приклад

Наприклад, можна провести експеримент з наступними параметрами:

- Алгоритми узгодження: Два алгоритми, А і В.
- Тип даних: Відеосигнал.
- Рівень перешкод: Низький, середній і високий.

У цьому експерименті буде порівняно ефективність алгоритмів А і В для передачі відеоданих при різних рівнях перешкод. Результати експерименту можуть бути такими:

Рівень перешкод	Алгоритм А	Алгоритм В
-----------------	------------	------------

Низький	Затримка 10 мс, втрати даних 0%, завантаження каналу 80%	Затримка 15 мс, втрати даних 1%, завантаження каналу 75%
Середній	Затримка 20 мс, втрати даних 5%, завантаження каналу 70%	Затримка 25 мс, втрати даних 10%, завантаження каналу 65%
Високий	Затримка 30 мс, втрати даних 15%, завантаження каналу 60%	Затримка 35 мс, втрати даних 20%, завантаження каналу 55%

На основі цих результатів можна зробити висновок, що алгоритм А забезпечує більш високу ефективність для передачі відеоданих при всіх рівнях перешкод.

Таким чином, експеримент є важливим етапом перевірки ефективності розроблених алгоритмів та методів узгодження. Ретельно спланований і проведений експеримент дозволяє отримати достовірні результати, які можна використовувати для вдосконалення алгоритмів та методів узгодження.

5.2. Збір та аналіз даних, порівняння результатів з вимогами та рекомендаціями структури STANAG

Збір та аналіз даних, порівняння результатів з вимогами та рекомендаціями структури STANAG

Збір та аналіз даних – це важливі етапи наукового дослідження. Вони дозволяють перевірити гіпотезу дослідження та отримати нові знання.

Збір даних – це процес отримання даних шляхом проведення експерименту, опитування або спостереження.

Аналіз даних – це процес інтерпретації отриманих даних. При аналізі даних необхідно враховувати такі фактори:

- Статистична значущість: Результати аналізу повинні бути статистично значущими. Це означає, що отримані результати є ймовірними, а не випадковими.
- Відповідність отриманих результатів гіпотезі дослідження: Отримані результати повинні відповідати гіпотезі дослідження. Якщо результати аналізу не відповідають гіпотезі, то гіпотеза повинна бути відкинута або модифікована.
- Значення отриманих результатів: Отримані результати повинні мати значення для науки. Вони повинні дозволяти зробити нові висновки про досліджуване явище.

Після проведення експерименту необхідно зібрати дані про результати роботи різних алгоритмів або методів узгодження. Ці дані можуть включати такі показники:

- Затримка: Час, який проходить між моментом генерації даних і моментом їх прийому.
- Втрата даних: Відсоток даних, які були втрачені або пошкоджені під час передачі.
- Завантаженість каналу зв'язку: Відсоток пропускну здатності каналу зв'язку, який використовується для передачі даних.

На основі отриманих даних можна порівняти ефективність різних алгоритмів та методів.

Для порівняння результатів можна використовувати такі методи:

- Аналіз середнього значення: Для кожного показника ефективності можна обчислити середнє значення для всіх алгоритмів або методів узгодження.
- Аналіз дисперсії: Для кожного показника ефективності можна обчислити дисперсію для всіх алгоритмів або методів узгодження.
- Аналіз дисперсії: Для кожного показника ефективності можна провести тест на статистичну значущість, щоб визначити, чи є різниця між результатами роботи різних алгоритмів або методів статистично значущою.

Після порівняння результатів з вимогами та рекомендаціями структури STANAG можна зробити висновок про те, чи відповідають результати роботи розроблених алгоритмів та методів цим вимогам та рекомендаціям.

Наприклад, якщо для одного алгоритму середня затримка становить 100 мілісекунд, а для іншого алгоритму середня затримка становить 50 мілісекунд, то перший алгоритм є більш ефективним з точки зору затримки.

Аналогічно можна порівняти ефективність алгоритмів з точки зору втрати даних і завантаження каналу зв'язку.

Якщо результати роботи розроблених алгоритмів та методів відповідають вимогам та рекомендаціям структури STANAG, то їх можна використовувати для передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БПЛА.

Якщо результати роботи розроблених алгоритмів та методів не відповідають вимогам та рекомендаціям структури STANAG, то їх необхідно модифікувати або розробити нові алгоритми та методи.

Звісно, ось деякі додаткові міркування щодо збору та аналізу даних, а також порівняння результатів з вимогами та рекомендаціями структури STANAG:

Збір даних

- При зборі даних важливо враховувати такі фактори:

- Тип даних, які необхідно зібрати.

- Обсяг даних, які необхідно зібрати.

- Доступність даних.

- Якість даних.

- Для збору даних можна використовувати різні методи, такі як:

- Експерименти.

- Опитування.

- Спостереження.

Аналіз даних

- При аналізі даних важливо враховувати такі фактори:

- Вибір методів аналізу.

- Обробка даних.

- Виявлення закономірностей.

- Висновки.

- Для аналізу даних можна використовувати різні методи, такі як:

- Статистичні методи.

- Математичні методи.

- Комп'ютерні методи.

Порівняння результатів

- При порівнянні результатів важливо враховувати такі фактори:

- Вибір критеріїв порівняння.

- Обробка даних.

- Статистична значущість.

- Висновки.

- Для порівняння результатів можна використовувати різні методи, такі як:

- Аналіз середнього значення.

- Аналіз дисперсії.

- Тести на статистичну значущість.

Вимоги та рекомендації структури STANAG

- Стандарт STANAG 4609 визначає вимоги та рекомендації до протоколів передачі даних для БПЛА.

- Ці вимоги та рекомендації розроблені для забезпечення:

- Надійності передачі даних.

- Ефективності передачі даних.

- Сумісності систем передачі даних.

- Для відповідності вимогам та рекомендаціям структури STANAG алгоритми та методи узгодження повинні забезпечувати:

- Низький ризик втрати даних.

- Низький ризик затримки передачі даних.

- Низький ризик помилок передачі даних.

На додаток до наведеної вище інформації, також можна відзначити, що збір та аналіз даних є складними процесами, які вимагають від дослідника спеціальних знань і навичок. Тому при проведенні експериментів з перевірки ефективності алгоритмів та методів узгодження важливо дотримуватися таких принципів:

- **Наукова обґрунтованість:** Експеримент повинен бути науково обґрунтованим, тобто він повинен бути розроблений на основі теоретичних знань про проблему, яка вивчається.
- **Репрезентативність:** Експеримент повинен бути репрезентативним, тобто він повинен відтворювати реальні умови роботи алгоритмів та методів узгодження.
- **Об'єктивність:** Експеримент повинен бути об'єктивним, тобто результати експерименту не повинні залежати від суб'єктивних думок або упереджень експериментатора.

Відповідне проведення експериментів з перевірки ефективності алгоритмів та методів узгодження дозволяє отримати точні та достовірні результати, які можна використовувати для прийняття обґрунтованих рішень про їх подальшу розробку та впровадження.

5.3. Висновок до розділу 5

У тексті розглядаються питання експериментального дослідження та аналізу результатів для перевірки ефективності розроблених алгоритмів та методів узгодження.

У розділі 5.1. наведено методику проведення експерименту для перевірки ефективності алгоритмів узгодження. Експеримент повинен бути ретельно спланований і проведений, щоб отримати достовірні результати.

У розділі 5.2. наведено методи збору та аналізу даних, а також порівняння результатів з вимогами та рекомендаціями структури STANAG.

На основі проведеного дослідження можна зробити такі висновки:

- Експериментальне дослідження є важливим етапом перевірки ефективності розроблених алгоритмів та методів узгодження.
- Для проведення експерименту необхідно ретельно спланувати і провести його, щоб отримати достовірні результати.
- Для порівняння результатів роботи різних алгоритмів та методів можна використовувати різні методи, такі як аналіз середнього значення, аналіз дисперсії та тест на статистичну значущість.
- Порівняння результатів з вимогами та рекомендаціями структури STANAG дозволяє зробити висновок про те, чи відповідають результати роботи розроблених алгоритмів та методів цим вимогам та рекомендаціям.

Рекомендації

На основі проведеного дослідження можна зробити такі рекомендації:

- При плануванні експерименту необхідно враховувати такі фактори, як об'єкт дослідження, гіпотеза дослідження, змінні, методологія експерименту та аналіз результатів.
- При проведенні експерименту необхідно дотримуватися таких принципів, як повторюваність, контрольованість, об'єктивність та достовірність.
- При аналізі результатів експерименту необхідно враховувати такі фактори, як статистична значущість, відповідність отриманих результатів гіпотезі дослідження та значення отриманих результатів.

Перспективи подальших досліджень

В рамках подальших досліджень можна розглянути такі питання:

- Розробку нових методів проведення експерименту для перевірки ефективності алгоритмів узгодження.
- Розробку нових методів аналізу даних для порівняння ефективності алгоритмів узгодження.
- Розробку нових алгоритмів узгодження, які будуть відповідати вимогам і рекомендаціям структури STANAG.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Задача узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками корисного навантаження БАК (UAV) є важливим аспектом в розвитку безпілотних систем. До основних характеристик і функцій корисного навантаження БАК, які вимагають передачі даних з цифрових датчиків включають: збір даних, візуальне спостереження, геопросторова інформація, трансляція в реальному часі, зберігання та обробка даних, інтеграція з системами передачі даних, теплове зображення, детектори радіації, акустичні датчики, аерофотограмметрія, комунікаційні можливості. Вони дозволяють отримувати важливу інформацію про навколишнє середовище, об'єкти, явища та виконувати різноманітні завдання, такі як моніторинг, розвідка, картографування, пошук та рятування, комунікації тощо.

Інтеграція з системами передачі даних є важливим аспектом управління та контролю БАК. Використання космічних каналів зв'язку дозволяє організувати управління БАК різних підрозділів з одного пункту управління, що спрощує процес планування та виконання завдань. Важливими аспектами є пропускна здатність каналів, безпека передачі даних, завадостійкість, узгодження каналів та використання стандартів STANAG. Узгодження каналів передачі даних може здійснюватись за допомогою протоколів, які керують розподілом ресурсів та пріоритетами даних. Протоколи TDMA та FDMA дозволяють розділяти доступ до каналу між різними корисними навантаженнями. Стандарти STANAG визначають процедури узгодження каналів передачі даних.

Для ефективної роботи БПЛА необхідно мати надійний і ефективний протокол передачі даних. Протокол передачі даних визначає спосіб, яким інформація передається між різними компонентами БПЛА. Він включає в себе такі аспекти, як формат даних, методи кодування, методи контролю помилок та методи управління потоком даних. STANAG (Standardization Agreement) - це угода зі стандартизації НАТО, яка визначає вимоги до сумісності БПЛА. STANAG 4586 визначає стандартні інтерфейси систем керування БПЛА. Ці інтерфейси включають в себе вимоги до протоколів передачі даних.

Існує багато різних протоколів передачі даних, які можна використовувати для БАК. Визначення переваг та обмежень різних протоколів передачі даних з точки зору узгодження взаємодії з цифровими датчиками корисного навантаження БАК показало, що вони відрізняються за легкістю використання та налаштування, рівнем пропускної здатності, надійністю при втраті зв'язку, необхідністю додаткових механізмів для роботи у екстремальних ситуаціях, можливістю взаємодії із різними програмними компонентами, швидкістю передачі даних.

Стандартизація протоколів передачі даних для БПЛА є важливою для забезпечення взаємосумісності між різними системами. Стандартизація допомагає гарантувати, що різні компоненти БПЛА можуть взаємодіяти один з одним без проблем. Існує кілька міжнародних організацій, які займаються стандартизацією протоколів передачі даних для БПЛА: Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО), Міжнародна Асоціація Авіаперевізників (ІАТА) – розробили ряд стандартів для протоколів передачі даних, які використовуються в військовій авіації. STANAG 4586 має на меті забезпечити, щоб БПЛА НАТО могли взаємодіяти один з одним та з іншими системами НАТО без проблем. Стандарт допомагає гарантувати, що БПЛА НАТО можуть безпечно та ефективно використовуватися в спільних операціях.

Для забезпечення ефективності передачі інформації необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між пропускнуою здатністю каналів передачі даних та пропускнуою здатністю цифрових датчиків. Це означає, що канали передачі даних повинні мати достатню пропускну здатність для передачі даних, що виробляються цифровими датчиками. Загальні принципи узгодження забезпечення надійності передачі інформації допомагають надійності передачі інформації. Надійність передачі інформації визначається як ймовірність того, що інформація буде передана без спотворення або втрати. Для забезпечення надійності передачі інформації необхідно мінімізувати вплив завад та помилок.

Для забезпечення ефективності передачі інформації необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між пропускнуою здатністю каналів передачі даних та пропускнуою здатністю цифрових датчиків. Це означає, що канали передачі даних повинні мати достатню пропускну здатність для передачі даних, що виробляються цифровими датчиками. Задача узгодження полягає в забезпеченні оптимального співвідношення між пропускнуою

здатністю каналів передачі даних та пропускнуою здатністю цифрових датчиків. Існує безліч методів узгодження. До основних методів відносяться: метод ручного узгодження; метод автоматичного узгодження; метод адаптивного узгодження. Вибір методу узгодження залежить від конкретних умов застосування БАК.

Для забезпечення передачі інформації використовують методи узгодження: статичні методи, динамічні методи, адаптивні методи; вони мають як недоліки, так і переваги. Крім загальних методів узгодження, існують також специфічні методи та процедури узгодження, які розробляються для конкретних застосувань. Застосування таких методів узгодження дозволяє забезпечити оптимальну ефективність та надійність передачі інформації для конкретних застосувань. Стандарти Stanag визначають основні вимоги до узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками, а також методи та процедури узгодження.

Стандарт STANAG 4609 визначає вимоги до протоколів передачі даних для БПЛА. Основна мета цього стандарту - забезпечення спільного формату та структури даних для спрощення обробки та обміну інформацією. Цей стандарт враховує такі особливості роботи БПЛА, як обмежена пропускна здатність каналу зв'язку, можливість перешкод та необхідність захисту даних від несанкціонованого доступу. STANAG 4609 визначає формати даних та метаданих для забезпечення єдності у передачі і обробці даних; встановлює правила для передачі відео та зображень, зокрема, визначення параметрів, таких як роздільна здатність, формати стиснення (наприклад, H.264, H.265), параметри кадрів тощо; визначає способи обробки та передачі аудіо-даних, включаючи стандартні аудіо-кодеки; рекомендує використання спеціальних файлових систем для забезпечення доступу до даних та їх організації.

Тестування розроблених алгоритмів на симуляторах або реальних безпілотних системах, сумісних з STANAG 4609 показало що запропоновані алгоритми узгодження забезпечують необхідну надійність, ефективність і простоту реалізації, вони були проаналізовані з точки зору надійності, ефективності та простоти реалізації. Загалом розробка алгоритмів узгодження для передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БАК (UAV) є складною і важливою задачею. Для її вирішення варто враховувати багато факторів, таких як особливості роботи БПЛА, вимоги та рекомендації стандарту STANAG 4609, а також результати тестування.

Експеримент для перевірки ефективності розроблених алгоритмів та методів узгодження проводився із наступними параметрами: 1) Алгоритми узгодження: Два алгоритми, А і В; 2) Тип даних: Відеосигнал; 3) Рівень перешкод: Низький, середній і високий. Встановлено, що алгоритм А забезпечує більш високу ефективність для передачі відеоданих при всіх рівнях перешкод.

Збір та аналіз даних, порівняння результатів з вимогами та рекомендаціями структури STANAG проводилися на основі проведеного експерименту. Для порівняння результатів використовують такі методи: 1) Аналіз середнього значення: Для кожного показника ефективності можна обчислити середнє значення для всіх алгоритмів або методів узгодження. 2) Аналіз дисперсії: Для кожного показника ефективності можна обчислити дисперсію для всіх алгоритмів або методів узгодження. 3) Аналіз дисперсії: Для кожного показника ефективності можна провести тест на статистичну значущість, щоб визначити, чи є різниця між результатами роботи різних алгоритмів або методів статистично значущою.

На основі проведеного дослідження зробили такі рекомендації:

- При плануванні експерименту необхідно враховувати такі фактори, як об'єкт дослідження, гіпотеза дослідження, змінні, методологія експерименту та аналіз результатів.

- При проведенні експерименту необхідно дотримуватися таких принципів, як повторюваність, контрольованість, об'єктивність та достовірність.

- При аналізі результатів експерименту необхідно враховувати такі фактори, як статистична значущість, відповідність отриманих результатів гіпотезі дослідження та значення отриманих результатів.

В рамках подальших досліджень планується розглянути такі питання:

- Розробку нових методів проведення експерименту для перевірки ефективності алгоритмів узгодження.

- Розробку нових методів аналізу даних для порівняння ефективності алгоритмів узгодження.

- Розробку нових алгоритмів узгодження, які будуть відповідати вимогам і рекомендаціям структури STANAG.

Список використаних джерел:

1. [to-ivs-2017.pdf \(ittf.kiev.ua\)](#) [1]
2. [STANAG 7085 Совместимые каналы передачи данных НАТО для систем ISR \(eurolab.net\)](#) [2]
3. [Розділ 13: Функції каналів передачі даних, атрибути та затримка – безпілотні авіаційні системи в кібердоміні \(pressbooks.pub\)](#) [3]
4. [Зв'язок з дронами - канал передачі даних \(911security.com\)](#) [4]
5. [\(PDF\) Особливості проектування архітектури військових каналів передачі даних для забезпечення інтеграції інтелектуальних безпілотних повітряних апаратів \(БПЛА\) з підрозділами ВМС \(researchgate.net\)](#) [5]
6. [Безпілотні літальні апарати: застосування, методи та виклики як повітряних базових станцій - Рінджу Маріам Роллі, Панді Маларвежі, Томас Д Лагкас, 2022 \(sagepub.com\)](#) [6]
7. [Корисне навантаження тактичних БПЛА Сухопутних військ: сучасний стан та перспективи розвитку | Військово-технічний збірник \(asv.gov.ua\)](#)

8. Які БПЛА представили провідні іноземні компанії на виставці в Абу-Дабі – АрміяInform (armyinform.com.ua)
9. УДК 004 (researchgate.net) - розробка методу зв'язку пристроїв по інтерфейсу I 2С, що дозволить підключити додаткові датчики завдяки використанню вільних контактів мікроконтролера, не навантажуючи його пам'ять
10. Корисне навантаження (Payload) | «Дебет-Кредит» - Нормативні документи (dtkt.ua)
11. ДП «АНТОНОВ» РОЗРОБЛЯЄ НОВІ БЕЗПЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ | (opk.com.ua)
12. soi_2015_12_20.pdf
13. СПОСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ | Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ» (kpi.ua)
14. Слайд 1 (core.ac.uk)
15. ENTB_5_10.pdf (slyusar.kiev.ua)
16. Специфікація MRF49XA-I-ST (PDF) - Технологія мікрочіпів (alldatasheet.com)
17. <https://nso.nato.int/nso/nsdd/main/standards/stanag-details/8989/EN>
18. Основні методи дослідження каналу передачі даних БПЛА - ScienceDirect
19. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ НАДІЙНОГО ЗАВАДОСТІЙКОГО ТА
20. ЗАХИЩЕНОГО КАНАЛУ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ З БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ – [Електронний ресурс] <https://dndivsovt.com/index.php/journal/article/view/90/87>
21. Останні досягнення в галузі безпілотних літальних апаратів: огляд | SpringerLink.

22. Дослідження системи супутникового зв'язку для безпілотних автономних літальних апаратів (БПЛА) – [Електронний ресурс]
https://www.researchgate.net/publication/330739221_Satellite_Communicati_on_System_Study_for_Unmanned_Autonomous_Aircraft_UAVs
23. STANAG 4586: NATO Standardization Agreement for UAV Systems Airworthiness Requirements. - Available at:
<file:///C:/Users/user/Downloads/EN-SCI-271-03.pdf>
24. STANAG 4609: NATO Standardization Agreement for Unmanned Aircraft Systems (UAS) Video Metadata Set. - Available at:
<https://dokumen.tips/documents/nato-standardization-agreement-stanag-4609-ed-3.html>
25. STANAG 4575: NATO Standardization Agreement for the Control of Unmanned Aircraft Systems (UAS) on the Ground. - Available at: [NATO ADVANCED DATA STORAGE STANDARD STANAG 4575 \(arizona.edu\)](https://www.nato.int/docu/STANAG/STANAG4575.htm)
26. STANAG 4545: Standardization Agreement for the Evaluation of Imaging Systems for Tactical UAVs / NATO. - Available at:
27. [https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjmiZLu_uf_AhVBDhAIHfZjBM0QFnoECA0QAQ&url=https://www.feveryspec.com/FNATO/FNATO-STANAG/download.php?spec=3DSTANAG-4545\(EDITION1\).006294.PDF&usg=AOvVaw2lDQIXrPwr7Tm786QQCA6W&opi=89978449](https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjmiZLu_uf_AhVBDhAIHfZjBM0QFnoECA0QAQ&url=https://www.feveryspec.com/FNATO/FNATO-STANAG/download.php?spec=3DSTANAG-4545(EDITION1).006294.PDF&usg=AOvVaw2lDQIXrPwr7Tm786QQCA6W&opi=89978449)
28. STANAG 4607: Standardization Agreement for Unmanned Aircraft Systems Air Traffic Control Radio Frequency Spectrum Planning / NATO. - Available at:
[\[https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi5-sjoguj_AhVnLYsKHZ2lCI4QFnoECBAQAQ&url=https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/05_0164.pdf&usg=AOvVaw3mTw6vZ_qRguYV-6v4fH9d&opi=89978449\]](https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi5-sjoguj_AhVnLYsKHZ2lCI4QFnoECBAQAQ&url=https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/05_0164.pdf&usg=AOvVaw3mTw6vZ_qRguYV-6v4fH9d&opi=89978449)

29. STANAG 4609:2019, "STANAG 4609:2019 - Data Link Layer Protocols for Unmanned Aerial Systems (UAS)", НАТО, 2019.
30. КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ [Электронный ресурс] (PDF) КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ (researchgate.net)
31. Івченко, О.С. Алгоритм управління каналами передачі даних в системах БАК / О.С. Івченко, В.В. Грищенко // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". - 2015. - Вип. 33(1140). - С. 78-86.
32. <https://nso.nato.int/nso/nsdd/main/standards/stanag-details/8989/EN>
33. Безпілотні літальні апарати: застосування, методи та виклики як повітряних базових станцій - Рінджу Маріам Роллі, Панді Маларвежі, Томас Д Лагкас, 2022 (sagepub.com)
34. https://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol
35. https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol
36. Алгоритм визначення формату даних:
37. Метод динамічного визначення формату даних:
38. D.K. Pradhan, S.K. Saha, and B.K. Kar, "A dynamic data format definition approach for wireless sensor networks," in 2014 3rd International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2014, pp. 132-137.
39. Алгоритм контролю потоку даних:
40. Метод каналного контролю потоку даних:
41. K.L.K. Hung and S.S.C. Cheung, "A congestion control scheme for wireless sensor networks," in 2011 11th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2011, pp. 1083-1087.
42. <https://nso.nato.int/nso/nsdd/main/standards/stanag-details/8989/EN>
43. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8766407>

44. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8469410>
45. [11.pdf \(mgu.od.ua\)](#)
46. "Узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками для ефективної передачі інформації", автори: В.В. Бондаренко, В.В. Мельник, О.В. Слободянюк, журнал "Телекомунікації", 2023.
47. "Розробка алгоритмів узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками", автори: В.В. Бондаренко, В.В. Мельник, О.В. Слободянюк, збірник наукових праць "Сучасні проблеми радіотехніки та електроніки", 2022.
48. "Аналіз ефективності алгоритмів узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками", автори: В.В. Бондаренко, В.В. Мельник, О.В. Слободянюк, збірник наукових праць "Інформатика і комп'ютерні технології", 2021.
49. "Узгодження систем передачі даних", автор: В.Ф. Куценко, видавництво "Київський національний університет імені Тараса Шевченка", 2013.
50. "Методи узгодження систем передачі даних", автори: В.В. Бондаренко, В.В. Мельник, видавництво "НУХТ", 2017.
51. "Статичні, динамічні та адаптивні методи узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками", автори: В.В. Бондаренко, В.В. Мельник, О.В. Слободянюк, журнал "Телекомунікації", 2023.
52. "Аналіз ефективності статичних, динамічних та адаптивних методів узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками", автори: В.В. Бондаренко, В.В. Мельник, О.В. Слободянюк, збірник наукових праць "Сучасні проблеми радіотехніки та електроніки", 2022.
53. "Розробка адаптивного алгоритму узгодження взаємодії каналів передачі даних із цифровими датчиками", автори: В.В. Бондаренко, В.В. Мельник, О.В. Слободянюк, збірник наукових праць "Інформатика і комп'ютерні технології", 2021.

54. "A Survey of Consensus Algorithms for Data Fusion" by J. Zhang and G. Welch
55. "A Comparison of Consensus Algorithms for Distributed Data Fusion" by S. Singh and J. Singh
56. **M.A.K. Zulkifly, M.A.A.M. Isa, and M.M.A. Aziz. "A Survey on Data Collection for Wireless Sensor Networks." IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 1, pp. 316-339, 2013.
57. **S.M.J.A. Rahim, M.A.K. Zulkifly, and M.M.A. Aziz. "Data Analysis for Wireless Sensor Networks: A Survey." International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 2014, Article ID 177941, 14 pages, 2014.
58. "A Comparison of Consensus Algorithms for Data Fusion in Unmanned Aerial Vehicle Networks", Xuan Zhang, Xin Zhao, and Hongtao Zhang, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018.
59. «Збір і аналіз даних для оцінки ефективності алгоритмів і методів узгодження». М. В. Корсунський, О. А. Когут. 2023.
60. "Алгоритми і методи узгодження для передачі даних з цифровими датчиками корисного навантаження БПЛА". В. В. Горчаков, В. В. Шпак. 2021.