

АНАЛІЗ ПРОТОКОЛУ CROSSFIRE

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі було розглянуто протокол Crossfire, який забезпечує зв'язок на великій відстані. Було проаналізовано можливості та функціональну реалізацію даного протоколу. Було проаналізовано, які частоти використовує даний протокол в різних географічних регіонах, і які переваги він пропонує користувачам. Було розглянуто можливе застосування TBS Crossfire в різних типах радіокерованих об'єктів, таких як дрони і автомобілі та інші. Було визначено переваги та недоліки даного протоколу.

Ключові слова: протокол, crossfire, радіозв'язок, дрони, передача даних, дистанційне керування.

Abstract

The work considered the Crossfire protocol, which provides long-distance communication. The capabilities and functional implementation of this protocol were analyzed. It was analyzed what frequencies this protocol uses in different geographical regions, and what advantages it offers to users. Possible applications of TBS Crossfire in various types of radio-controlled objects such as drones and cars and others were considered. The advantages and disadvantages of this protocol were identified.

Keywords: protocol, crossfire, radio communication, drones, data transfer, remote control.

Вступ

В сучасному світі, технології радіокерування стрімко розвиваються з кожним роком. Вони стають більш доступними та багатофункціональними. Апаратура радіокерування - пристрій, що перетворює положення стіків (gimbals) та тумблерів (switches) у команди для коптера. Положення стіків відправляються на радіопередавач (transmitter), який перетворює сигнали команди певного протоколу передачі. Команди передаються коптеру "по повітрю" на певній частоті (зазвичай 900 МГц або 2.4 ГГц). На борту коптера команди отримує радіоприймач (receiver) і відправляє їх на польотний контролер (flight controller, FC) для виконання. [1]

У 2023 році найбільш популярними радіосистемами є [2]:

TBS Crossfire – далекобійна система, яка працює на частоті 900 МГц. Дозволяє ставити рекорди в сотні кілометрів за дотримання певного ряду умов (локація, тип БПЛА, налаштування передавача, розташування антен та багато іншого). Зустрічаються як зовнішні передавачі різних формфакторів так вбудовані модулі апаратури.

ELRS (ExpressLRS або Express Long Range System) – система, яка працює на 900 МГц або на 2,4 ГГц. Зустрічаються як зовнішні передавачі різних формфакторів так і вбудовані модулі апаратури.

TBS Tracer – модифікація Crossfire. Працює на 2,4 ГГц (Crossfire повільніше - 900 МГц). Не такий швидкий як ELRS, не такий далекобійний як Crossfire. Зустрічається у вигляді окремого модуля і як вбудований передавач апаратури TBS Mambo.

IMMERSION RC GHOST – конкурент ELRS з мінімізацією затримок передачі команд. Найбільш поширений у США через його доступність. Використовується лише як зовнішній передавач.

Таким чином, розуміння роботи сучасних протоколів дозволить їх вдосконалити та, можливо, створювати нові, які будуть кращими за основними характеристиками. В даній роботі, для аналізу було вибрано протокол зв'язку Crossfire, оскільки він є найпоширенішим у використанні на даний момент в Україні.

Результати дослідження

Crossfire представляє передову технологію управління на дистанції, що розроблена з метою забезпечити надійний зв'язок на великих дистанціях між радіокерованими об'єктами та їхніми операторами.[3]

Crossfire був розроблений як відповідь на необхідність у більш далекому та надійному зв'язку. Протокол використовував частоти 900 МГц (на відміну традиційніших 2,4 ГГц), що дозволило суттєво

збільшити дальність передачі. Основними його особливостями є дальність, надійність та швидкість. Crossfire може працювати на відстані більше 100 км, що було революційним на момент його випуску. Завдяки адаптивній частотній модуляції та технології LORA Crossfire забезпечує стабільне з'єднання навіть у найскладніших умовах. Протокол надає дуже малу затримку, що важливо для FPV пілотів. [4]

Crossfire є високопродуктивним та передовим рішенням для забезпечення зв'язку між вашим дроном та землею. Він володіє можливістю автономного двостороннього обміну інформацією, мінімальною затримкою та надійним покриттям на великих відстанях. З моменту своєї появи Crossfire став золотим стандартом для професійних пілотів FPV. Багато інших компаній почали шукати способи адаптації чи створення власних рішень, які б конкурували з Crossfire. [4]

Частотні діапазони та методи модуляції відіграють ключову роль у радіокommунікації, особливо коли йдеться про системи радіокерування, такі як Crossfire та інші.

Найпоширенішими є кілька діапазонів частот [5]:

1) 2,4 ГГц: це найбільш поширений діапазон для радіокерованих пристроїв, включаючи більшість дронів та RC моделей. Він пропонує хороший компроміс між дальністю та пропускну здатністю.

2) 868-915 МГц: цей діапазон, який використовується системою Crossfire, надає велику дальність та стійкість до завад за рахунок нижчої частоти.

3) 5,8 ГГц: зазвичай використовується для відеопередачі у FPV дронах. Він забезпечує високу пропускну здатність, але має меншу дальність у порівнянні з 2,4 ГГц.

4) 433 МГц: ще один діапазон для далекого радіокерування, який не такий популярний, як 2,4 ГГц або 868-915 МГц, але надає вражаючу дальність.

Основними видами модуляції, які використовуються в таких системах є [2]:

1) AM (амплітудна модуляція): у цьому методі амплітуда несучої хвилі змінюється відповідно до інформаційного сигналу. Найчастіше використовується у радіомовних системах.

2) FM (частотна модуляція): в даному випадку частота несучої хвилі змінюється відповідно до інформаційного сигналу. Зазвичай використовується для радіомовлення та деяких системах радіокерування.

3) LoRa (Long Range): це метод модуляції, що використовується в Crossfire, який використовує розмах (або "ковзний спектр") для збільшення дальності та стійкості до завад.

4) DSM/DSMX, DSSS, FHSS: це специфічні методи цифрової модуляції, які використовуються в системах радіокерування для збільшення стійкості з'єднання та зменшення завад.

Crossfire має можливість створювати як висхідну, так і низхідну лінії зв'язку, використовуючи двонаправлену передачу для отримання телеметричних та інших даних від моделі, до якої він підключений.

Крім того, протокол також оснащений вбудованим WiFi, а деякі модулі також підтримують Bluetooth. Це дозволяє обмінюватися даними з іншими пристроями. Цей продукт можна легко інтегрувати з іншими продуктами від TBS, такими як TBS Fusion – технологія передачі відео та даних. Також існує можливість підключити його до комп'ютера для обміну даними телеметрії з наземною станцією, наприклад, за допомогою протоколу MAVLink. [3]

TBS Crossfire може працювати на частоті 868 або 915 МГц, залежно від географічного регіону. У Європі, Індії та Україні рекомендовано використовувати частоту 868 МГц для TBS Crossfire.

В інших країнах Азії, Австралії та Північної та Південної Америки рекомендовано використовувати частоту 915 МГц. TBS Crossfire використовує радіочіп LoRa великого радіусу дії для створення двостороннього каналу передачі даних між БПЛА та землею. Ця специфікація відноситься до вибору частоти для використання TBS Crossfire відповідно до географічного регіону та законодавчих обмежень щодо використання бездротових зв'язків. [5]

TBS Crossfire створений, щоб забезпечити бездоганний досвід користувача, з'єднуючи радіостанцію RC (Radio Control) з моделлю для керування та передачі телеметричних даних. Встановлення Crossfire майже таке ж, як і встановлення традиційного радіоприймача у модель. В моделі встановлюється приймач, а в передавач встановлюється модуль передавача. Коли передавач Crossfire підключений до розширювального відсіку радіоприймача, він встановлює зв'язок через послідовне з'єднання.

Приймач Crossfire також отримує телеметричні дані від диспетчера польоту та передає їх назад до радіостанції. Модуль передавача Crossfire отримує дані від моделі і може обробляти їх різними способами. Отримані дані можна використати разом з OpenTX, програмним забезпеченням, що працює на радіостанції, для відображення даних телеметрії на екрані. [6]

Дані також можна передавати з модуля передавача радіостанції, де використовується протокол Crossfire через WiFi або Bluetooth, а потім надсилати їх на наземну станцію або інший продукт TBS, такий як Fusion. [1]

Радіостанція передає різні дані модулю Crossfire, включаючи положення ручок та стан перемикачів. Crossfire передає ці дані моделі через радіозв'язок LoRa, де їх приймає приймач Crossfire, як правило, Crossfire Nano. У сучасних системах, таких як безпілотики FPV (First Person View), контролер польоту виступає як "мозок" моделі. Приймач Crossfire спілкується з контролером польоту через послідовний канал, передаючи дані про рух ручок та перемикачів, які були передані радіостанцією на землі.

На рис. 1 наведено реальні модулі, які використовуються для різних пристроїв, які використовують протокол Crossfire. [6]



Рис 1. – Приклади наборів для використання
а - радіоприймач та відеопередавач TBS Crossfire Sixty9,
б - набір TBS Crossfire Micro V2 Starter.

TBS Crossfire можна використовувати для радіокерованого автомобіля, оскільки він може виводити рухи «тригерів» безпосередньо у формі ШІМ-сигналів. [2]

Ці ШІМ-сигнали можуть бути передані на сервопривід керування рулем та сервопривід дросельної заслінки (у випадку автомобілів з двигуном Nitro) або електронний регулятор швидкості (ESC) у випадку електромобілів. Налаштування TBS Crossfire на пряме виведення рухів «тригерів» дозволяє Crossfire працювати так само, як традиційна радіостанція на дистанційному керуванні.

Крім того, TBS Crossfire можна використовувати з апаратним забезпеченням Pixhawk, керованим програмним забезпеченням Ardupilot Rover, що надасть радіокерованому автомобілю автономні функціональність та можливість керувати ним на відстані з використанням додаткових функцій та можливостей автопілота. [5]

Таким чином, вибір протоколу Crossfire, має сенс у сценаріях з безпілотними літальними апаратами (БПЛА) та радіокерованими моделями, особливо у випадках, коли необхідна висока надійність та продуктивність бездротового зв'язку. Цей протокол може забезпечувати стабільний зв'язок на значні відстані. Crossfire підтримує високі частоти передачі даних, що забезпечує мінімальну затримку та стабільніше управління при пілотуванні БПЛА. Crossfire добре інтегрований з популярною прошивкою OpenTX для радіопередавачів. Протокол Crossfire використовує методи усунення інтерференцій, що забезпечує більш надійний зв'язок в оточеннях з багатьма іншими бездротовими пристроями та завадами. Crossfire має оновлюване програмне забезпечення, що дозволяє його покращувати і додавати нові функції з часом.

Висновки

Отже, TBS Crossfire - це високоефективний протокол, який забезпечує надійний двосторонній зв'язок між радіокерованими об'єктами та наземною станцією. Він працює на різних частотах, в залежності від географічного регіону користувача, і може використовуватися для керування різними типами моделей, включаючи дрони та автомобілі.

Перевагами Crossfire перед іншими протоколами є:

1. Збільшена дальність. Завдяки використанню частотного діапазону 868-915 МГц та технології LoRa, Crossfire може забезпечити дистанційне керування на відстані понад 100 км, що значно перевершує більшість традиційних 2,4 ГГц систем.

2. Найменша затримка. Crossfire пропонує неймовірно низьку затримку з'єднання, що особливо важливо для FPV пілотів, для яких кожна мілісекунда має значення.

3. Адаптивна модуляція. Система автоматично адаптується до умов навколишнього середовища, перемикаючись між різними режимами передачі даних, щоб забезпечити найкраще з'єднання та мінімальну затримку.

4. Двостороння телеметрія. Crossfire не тільки відправляє команди від передавача до дрона, але й надає зворотний зв'язок у реальному часі, дозволяючи пілотам отримувати цінну інформацію про статус свого пристрою.

5. Висока стійкість до завад. Частотний діапазон, на якому працює Crossfire, менш схильний до радіозавад у порівнянні з вищими частотами, що забезпечує більш стабільне і надійне з'єднання.

6. Гнучкість та сумісність. Crossfire легко інтегрується з різними платформами і підтримує безліч протоколів, таких як MAVLink, роблячи його ідеальним для різних програм, від простих дронів до складних автономних систем.

7. Безпека. З використанням кодування та захисних механізмів, Crossfire гарантує безпеку передачі даних, запобігаючи потенційним загрозам або спробам перехоплення.

8. TBS Crossfire також підтримує додаткові функції, такі як WiFi і Bluetooth, для обміну даними з іншими пристроями, що робить його універсальним рішенням для радіокерування в різних сценаріях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. TBS CROSSFIRE R/C System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.team-blacksheep.com/media/files/tbs-crossfire-manual.pdf> (28.10.2023).

2. TBS Crossfire Telemetry [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://docs.px4.io/main/en/telemetry/crsf_telemetry.html (28.10.2023).

3. How to Setup TBS Crossfire and Tracer [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://oscarliang.com/crossfire-betaflight/> (28.10.2023).

4. User Manual for Monochrome Screen Radios [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://edgetx.gitbook.io/edgetx-user-manual/b-and-w-radios> (28.10.2023).

5. Особливості Crossfire протоколу в TBS Tango 2 Pro [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://konstantinovka.dn.ua/news/osobennosti-crossfire-protokola-v-tbs-tango-2-pro.html> (28.10.2023).

6. Модуль TBS Crossfire micro TX V2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://fpv-world.com.ua/index.php/product/tbs-crossfire-micro-tx-v2/> (28.10.2023).

Прутула Максим Олександрович – к.т.н., старший викладач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: pritelamo@ukr.net

Гайдамашко Артем Олексійович — студент групи ПЗТ-206, факультет інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: artemgajdamasko@gmail.com

Prytula Maksym Oleksandrovych - Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Information Radio Electronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pritelamo@ukr.net

Haidamashko Artem O. — Department of information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : artemgajdamasko@gmail.com