



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВ ВИДЕОСИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

Г. М. Петров, Н. В. Тарасов

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье рассматривается сравнительный анализ видеосистем для передачи видеопотока. Цель исследования — определить эффективность и применимость различных типов видеосистем в рассматриваемых условиях и ситуациях применения. В работе проводится обзор существующих видеосистем, анализ их характеристик и сравнение преимуществ и недостатков каждого типа.

Ключевые слова: передача видеосигнала, сравнение систем передачи, дальность связи, задержка, качество изображения.

Для цитирования:

Петров, Г. М. Сравнительный анализ типов видеосистем передачи изображения для беспилотных систем / Г. М. Петров, Н. В. Тарасов // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 5(43). – с. 91-98. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-5-91-98.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TYPES OF VIDEO IMAGE TRANSMISSION SYSTEMS FOR UNMANNED SYSTEMS

G. M. Petrov, N. V. Tarasov

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article considers a comparative analysis of video systems for transmitting a video stream. The purpose of the study is to determine the efficiency and applicability of different types of video systems in different conditions and situations. The work provides an overview of existing video systems, an analysis of their characteristics and a comparison of the advantages and disadvantages of each type.

Keywords: video transmission, comparison of transmission systems, communication range, latency, image quality.

For citation:

Petrov, G. M. Comparative analysis of types of video image transmission systems for unmanned systems / G. M. Petrov, N. V. Tarasov // System analysis and logistics. – 2024. – № 5(43). – p. 91-98. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-5-91-98.

Введение

Беспилотные системы за последние годы стали неотъемлемой частью самых разных сфер деятельности — от профессиональной съёмки и разведки до спортивных гонок и хобби. Их популярность обусловлена широкими возможностями настройки и использованием современных технологий для передачи изображения в режиме реального времени.

FPV (First Person View) — это технология, которая позволяет управлять беспилотной авиационной системой или другим типом дронов, используя изображение с камеры, установленной на устройстве, в режиме реального времени. Видео транслируется на специальный монитор, очки или шлем оператора, создавая эффект присутствия "от первого лица" [1].

Однако качество управления и эффективность выполнения задач во многом зависят от системы передачи данных. В современном мире FPV существует множество технологий, каждая из которых имеет свои особенности, преимущества и ограничения.

Существующие технологии передачи видеосигнала

Системы передачи видеоизображения для FPV (First Person View) делятся на аналоговые и цифровые. Аналоговые системы представляют собой классический вариант передачи, который остаётся популярным благодаря своей простоте и низкой задержке, а цифровые предлагают более высокое качество изображения и дополнительные возможности, такие как



шифрование данных и телеметрия.

Аналоговые системы передачи видеопотока являются традиционным способом передачи изображения. Они используют частотный диапазон 5,8 ГГц, 1,2 ГГц для передачи видеосигнала, обеспечивая низкую задержку, что особенно важно для постоянного контроля за беспилотником или роботом. Однако основным недостатком таких систем является ограниченное качество изображения и чувствительность к помехам [2].



Рис. 1. Аналоговый комплект

DJI предлагает наиболее популярное цифровое решение, обеспечивающее высокое разрешение и дальность передачи. Система отличается простотой в использовании, высокой стабильностью связи и минимальной задержкой. Недостатком является высокая стоимость оборудования и отсутствие совместимости с компонентами других производителей [3].



Рис. 2. Комплект DJI

Цифровая система передачи видеопотока Walksnail является конкурентом DJI. Она предлагает схожее качество изображения и низкую задержку. Основным преимуществом системы является относительная доступность и совместимость с широким спектром оборудования, но дальность передачи и устойчивость к помехам несколько уступают DJI [4].



Рис. 3. Комплект Walksnail

HDZero (ранее Shark Byte) представляет собой уникальную цифровую систему, ориентированную на минимизацию задержки. Она обеспечивает разрешение до 1080p при задержке менее 20 мс, что делает её привлекательной для гонщиков. Основной акцент HDZero делает на "компромисс" между качеством изображения и задержкой, что позволяет сохранить высокую отзывчивость управления. Дополнительно стоит отметить открытость экосистемы [5].



Рис. 4. Комплект HDZero

Решения с открытым исходным кодом, такие как OpenHD и OpenIPS, предоставляют пользователям полный контроль над системой передачи данных. Они используют Wi-Fi или другие протоколы связи для передачи видео в разрешении до 1080p. Эти технологии характеризуются гибкостью настройки и совместимостью с различными устройствами, но их использование требует опыта настройки, а задержка может варьироваться в зависимости от условий [6,7].

Каждая технология передачи данных имеет свои особенности, но аналоговые системы и HDZero выделяются среди других благодаря их способности обеспечивать минимальную задержку и стабильность сигнала.

Аналоговые системы остаются неизменным выбором для ситуаций, где критически важна мгновенная реакция на действия оператора. Простота работы и предсказуемость



сигнала делают их идеальными для динамичных задач, таких как гонки или управление в сложных условиях, где малейшая задержка может привести к потере управления.

Далее рассмотрим детали этих технологий, чтобы показать их сильные стороны и определить, в каких ситуациях они проявляют себя лучше всего.

Типы систем передачи видеосигнала

Когда речь заходит о том, какая система видеопередачи является аналоговой, а какая цифровой, обычно имеется в виду модуляция базового диапазона. DJI, OpenHD, HDZero и другие используют OFDM модуляцию, в то время как аналоговые системы используют традиционную CVBS модуляцию [5].

OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов, является цифровой схемой модуляции, которая использует большое количество близко расположенных ортогональных поднесущих [8].

CVBS (Color, Video, Blank, Sync) – аналоговый или композитный видеосигнал, который передает сведения яркости, цветности, гашения и синхросигнал по одножильному коаксиальному кабелю в аналоговых системах видеопередачи. Максимальное разрешение передачи видеосигнала через CVBS по горизонтали составляет всего 720 пикселей, что делает этот формат устаревшим на сегодняшний день.

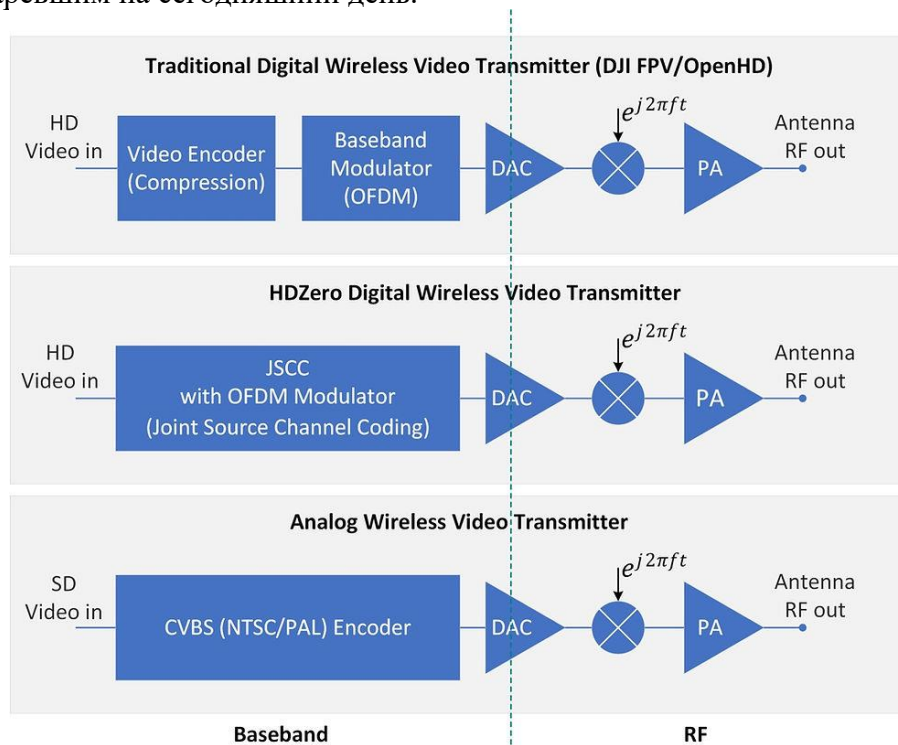


Рис. 5. Сравнение систем передачи видеосигнала

Традиционная цифровая беспроводная передача видео использует видеокодер для сжатия, чтобы уменьшить скорость передачи данных, и OFDM в качестве модуляции базовой полосы. HDZero использует технологию Joint Source Channel Coding (JSCC) для прямого отображения входящих видеоданных в OFDM в качестве базовой полосы модуляции [5].

JSCC — это метод кодирования источника и канала, который использует корреляцию между источниками для генерации входных данных канала. JSCC основан на гибридном цифровом и аналоговом кодировании и применим для передачи коррелированных источников через дискретно-вероятностные двухканальные системы.

Сжатие видео в качестве исходного кодирования, которое используют большинство цифровых видеосистем, создает две проблемы для канального кодирования. Во-первых,



сжатый видеопоток чувствителен к ошибкам передачи из-за использования предиктивного кодирования и кодирования переменной длины. Во-вторых, скорость передачи данных резко возрастает, если видеоконтент меняется от кадра к кадру. Последующие ошибки передачи делают все полученное видео чрезвычайно пикселизированным и размытым.

Отличие HDZero заключается в том, что она не сжимает видео перед передачей. Четкость видеоизображения зависит от интенсивности сигнала и не зависит от движения. При возникновении ошибок передачи повреждаются только отдельные пиксели, а все видео сохраняет общую четкость. Другими словами, ошибки передачи изолированы от пикселей, а не затрагивают все видео.

Сравнение качественных характеристик видеосистем

Пилотам дронов необходимо принимать во внимание дальность действия и глубину проникновения сигнала при выборе FPV-системы. Аналоговое видео, DJI, HDZero и другие обладают разными показателями дальности и глубины проникновения, что обусловлено технологиями, выходной мощностью и окружающей средой.

На данный момент все системы FPV доказали свою способность работать на большом расстоянии при условии, что правильно настроены антенны и используется соответствующая выходная мощность.

Дальность и глубина проникновения сигнала HDZero сопоставима с аналоговой. Однако максимальная выходная мощность HDZero составляет 1 Вт, в то время как у аналоговых передатчиков она достигает 2,5 Вт и более.

Реальные тесты показывают, что при правильной настройке антенн и прямой видимости HDZero способна передавать изображение практически без помех на расстояние более 8 км. На аналоговой систем удастся добиться дальности в несколько десятков километров, но опять же все зависит от множества факторов, таких как мощность видеопередатчика, качество антенн и условий видимости.

В плане помехоустойчивости выигрывает HDZero. Данная система является менее чувствительная к помехам, чем любые другие. Благодаря методу модуляции, который используется в HDZero, пилот дрона видит более качественное изображение. Аналоговая система на практике является, в большинстве случаев, остается чувствительной к помехам. Данная проблема решается использованием самых качественных комплектующих и антенн.

Другие цифровые системы схожи по помехоустойчивости с HDZero, но ключевая разница в фильтрации этих помех. При наличии внешних помех, на выходе изображение может полностью останавливаться на несколько секунд или становиться сильно размытым.

Также немаловажной характеристикой любой системы передачи видеосигнала является задержка. Она особенно важна для тех, кто занимается гонками на дронах. Здесь очевидный фаворит – HDZero. Она обеспечивает задержку при передаче входного видеосигнала на выходной видеосигнал менее 1 мс. Задержка при передаче сигнала от стекла камеры к стеклу очкам может составлять всего 14,1 мс [5]. Аналоговые системы также имеют фиксированную задержку порядка 20 мс. Если говорить про DJI и другие цифровые системы, то у них задержка не фиксированная (примерно 30-60 мс) и может меняться в зависимости от качества сигнала.

Виды оборудования и их сравнение

В рамках сравнительного блока рассмотрим системы передачи видеоизображения с наименьшей задержкой и те, которые применяются для спортивного пилотирования БАС в рамках спортивных соревнований.

1. Очки / шлем / внешний приёмник:

Аналоговые системы: FPV-очки/шлема для аналогового сигнала имеют встроенные или внешние приёмники, которые работают с большинством стандартных передатчиков. При этом есть 2 большие подкатегории: шлема и очки. Шлем представляет собой один экран, часто



оснащённый системой фиксированных линз для повышения качества изображения. И очки, которые в основном дороже шлемов за счёт 2 экранов, наличия механизмов изменения фокусного расстояния и межзрачкового состояния и более качественных линз в целом. Что значительно повышает удобство и комфорт полётов на аналоговых видеосистемах. При этом также есть отдельные мониторы со встроенными приёмниками, которые позволяют получать изображение с дрона [8].



Рис. 6. Аналоговые очки приема видеосигнала

HDZero: на данный момент HDZero имеет 3 варианта вывода изображения: внешний модуль приёма, очки, монитор-приёмник. Внешний модуль приёма HDZero был специально разработан для владельцев аналоговых очков/шлемов, он подключается как внешний модуль и позволяет получать картинку HDZero хоть и с ограничением по качеству и количеству кадров. Монитор-приёмник HDZero позволяет наблюдателем смотреть за картинкой, как HDZero так и аналога, не используя специальные очки или шлем также с него можно вывести картинку на большой монитор что может быть весьма удобно для мероприятий. Очки HDZero взяли всё самое лучшее от аналоговых очков, они имеют 2 экрана, которые позволяют выводить картинку в высоком разрешении и высоким количеством кадров, помимо этого к ним можно подключать и внешние приёмники если требуется использование 2 видео систем одновременно, так же они имеют систему регулирования межзрачкового расстояния и диоптриев для удобства их использования.



Рис. 7. Внешний приёмник HDZero VRX и монитор-приёмник



2. Передатчик (VTX):

Аналоговые системы: Аналоговые передатчики различны по своим размерам, частотам и мощности. И благодаря совместимости можно собрать систему из приёмника и передатчика под любые задачи.

HDZero: всего имеет 3 вида передатчика, и из-за их совместимости только с HDZero получается все 3 конфигурации: для малых дронов, для больших гоночных дронов, и для свободных полётов.

3. Камера:

Аналоговые системы: универсальны, из-за большого количества производителей можно выбрать камеру в зависимости от бюджета. Дорогие и дешёвые камеры выполняют одну задачу, но будут отличаться по качеству исполнению и компонентам, что будет влиять в особенности на качество изображения в сложных условиях (недостаточная освещённость, ночь, блики от дополнительных источников света)

HDZero: как и с передатчиками, всего есть несколько вариантов которые предназначены для определённых условий

Заключение

В данной статье были рассмотрены различные типы систем передачи видеосигнала, в частности были рассмотрены классические аналоговые системы, современные открытые и закрытые цифровые системы, а также гибридная система передачи видеосигнала. Данные видеосистемы применяются для решения задачи пилотирования дрона от первого лица, но в зависимости от условий эксплуатации и требованиям к разрешению передаваемого видеосигнала, стабильности передачи видео, задержек и дальности, могут быть использованы те или иные типы видеосистем. Представленное исследование и практическая реализация выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003 «Фундаментальные основы построения помехозащищённых систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Костин А. С.* Исследование моделей и методов маршрутизации и практического выполнения автономного движения беспилотными транспортными системами для доставки грузов / Н. Н. Майоров, А. С. Костин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2023. – Т. 15. – № 3. – С. 524-536.
2. *Костин А. С.* Особенности практической реализации беспилотной авиационной системы мультироторного типа на базе 5-ти дюймового квадрокоптера для отработки навыков пилотирования и авиамониторинга от первого лица / Ю. А. Силин, А. С. Костин // Системный анализ и логистика. – 2022. – № 4 (34). – С. 125-134.
3. Dronomania. Цифровые видеосистемы передачи видеосигнала [Электронный ресурс]. – URL: <https://dronomania.ru/hardware/dji-digital-fpv-system.html?Ysclid=m462u63x9h739564926> (дата обращения: 20.11.2024).
4. *Klein D. J.* Localization with sparse acoustic sensor network using uavs as information-seeking data mules / D. J. Klein, S. Venkateswaran, J. T. Isaacs // ACM Transactions on Sensor Networks. – 2013. – Vol. 9. – p. 1–29. – DOI: 10.1145/2480730.2480733.
5. *Майоров Н. Н.* Эксплуатация беспилотных авиационных систем: учеб. пособие / Н. Н. Майоров, А. С. Костин, Т. Ю. Карпова. – Спб.: ГУАП. – 2021. – 169 с.
6. *Agrawal K.* Multi-rotors: A revolution in unmanned aerial vehicle / K. Agrawal, P. Shrivastav // International Journal of Science and Research. – 2015. – Vol. 4. – № 11. – p.



1800–1804. – DOI: 10.21275/v4i11.nov151540.

7. Nag News. OFDM-модуляция [Электронный ресурс]. – URL: <https://nag.ru/material/30600> (дата обращения: 20.11.2024).
8. Dronnews. Анализ выбора FPV системы [Электронный ресурс]. – URL: <https://dronnews.ru/fpv/fpv-system.html> (дата обращения: 20.11.2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Григорий Михайлович

лаборант лаборатории беспилотных авиационных систем, студент
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: grigiriy.petrov.2003@gmail.com

Тарасов Никита Вячеславович

младший специалист лаборатории беспилотных авиационных систем, студент
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: nik701rus@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Petrov Grigory Mikhailovich

laboratory assistant of the laboratory of unmanned aircraft systems, student
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: grigiriy.petrov.2003@gmail.com

Tarasov Nikita Vyacheslavovich

specialist of the laboratory of unmanned aircraft systems, student
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: nik701rus@yandex.ru