

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ШИФРОВАНОГО АНАЛОГОВОГО ВІДЕОСИГНАЛУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ З АВТОМАТИЧНОЮ ЗМІНОЮ ЧАСТОТИ КАНАЛУ

Вінницький Національний Технічний Університет

Анотація

В даній роботі розглянуто проблему підвищення завадостійкості каналів відеозв'язку FPV-дронів в умовах активної протидії засобами радіоелектронної боротьби. Запропоновано метод адаптивної реактивної перебудови робочої частоти на основі аналізу читабельності телеметричної інформації (T-VQA). Описано програмно-апаратну реалізацію системи, яка дозволяє автоматично виявляти критичні завади та змінювати канал зв'язку без участі оператора.

Ключові слова: FPV-дрони, аналоговий відеосигнал, завадостійкість, T-VQA, адаптивна зміна частоти.

Abstract

This paper discusses the problem of increasing the noise immunity of FPV drone video communication channels under active electronic warfare countermeasures. A method of adaptive reactive operating frequency hopping based on the analysis of telemetry information readability (T-VQA) is proposed. A software and hardware implementation of the system is described, which allows automatically detecting critical interference and switching the communication channel without operator intervention.

Key words: FPV drones, analog video signal, noise immunity, T-VQA, adaptive frequency hopping.

Вступ

В умовах сучасних бойових дій безпілотні літальні апарати (БПЛА) класу FPV (First Person View) стали критично важливим елементом розвідки та ураження. Переважна більшість таких дронів використовує аналогові канали передачі відео через їхню низьку затримку (low latency) та здатність до «граціозної деградації» сигналу. Однак, аналогові канали є вразливими до прицільних завад засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ). Існуючі методи захисту, такі як ручне перемикання частоти, є неефективними через значний час реакції людини. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки автоматизованих систем адаптивного керування частотою, здатних швидко реагувати на завади.

Результати дослідження

Аналіз існуючих рішень показав, що цифрові методи псевдовипадкової перебудови робочої частоти (FHSS), які ефективно працюють у цифрових системах, непридатні для класичного аналогового відео через втрату синхронізації зображення при кожному стрибку частоти. Тому найбільш перспективним напрямком є адаптивна (реактивна) зміна частоти, яка ініціюється лише при виявленні стійкого погіршення якості сигналу.

Для реалізації цього підходу було розроблено метод T-VQA (Text-based Video Quality Assessment). Суть методу полягає в автоматичній оцінці якості відеоканалу шляхом аналізу читабельності текстової телеметрії (OSD), що накладається на відеопотік польотним контролером. Гіпотеза дослідження базується на тому, що якщо алгоритм комп'ютерного зору не може розпізнати текст телеметрії через «сніг» або спотворення, то відеоканал є непридатним для пілотування.

Система реалізована на базі одноплатного мікрокомп'ютера Raspberry Pi, який обробляє відеопотік з наземного приймача. Алгоритм використовує методи оптичного розпізнавання символів (OCR) для визначення індексу впевненості розпізнавання тексту в заданій зоні інтересу (ROI). Це дозволяє відфільтрувати хибні спрацювання, викликані складним ландшафтом або зміною освітлення, оскільки система реагує виключно на деградацію чітко структурованих символів OSD.

Ключовим елементом розробки є протокол «Відкладений стрибок» (Delayed Hop), який забезпечує синхронізацію перемикавання частоти між бортовим передавачем та наземним приймачем. При виявленні критичного рівня завад наземна станція через канал керування (ELRS) відправляє команду на дрон, і лише після розрахованої паузи, необхідної для обробки команди, перемикає локальний відеоприймач. Це мінімізує час втрати зв'язку.

Експериментальні дослідження прототипу показали, що повний час реакції системи на появу завади складає близько 0.8 секунди, що значно швидше за реакцію людини. Система демонструє високу стійкість до хибних спрацювань та ефективно відновлює відеозв'язок шляхом переходу на вільний канал. Економічні розрахунки підтверджують доцільність впровадження розробки, оскільки вартість збереженого БПЛА значно перевищує витрати на модернізацію наземної станції.

Висновки

Використання методу T-VQA для автоматичного керування частотою аналогового відеоканалу дозволяє вирішити проблему вразливості FPV-дронів до прицільних завад РЕБ без переходу на дорогі цифрові системи. Запропоноване рішення забезпечує автоматичний моніторинг якості зв'язку та оперативне уникнення завад, що підвищує живучість та ефективність застосування безпілотних комплексів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрусевич А., Бурдейний М. Безпілотні літальні апарати. Дрони: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. 216 с.
2. Слюсар В. І. Методи радіоелектронної боротьби та протидії безпілотним літальним апаратам. Озброєння та військова техніка. 2017. № 1 (13). С. 22–29.
3. Макаренко С. І. Протидія безпілотним літальним апаратам: монографія. Харків: ХНУПС, 2019. 288 с.
4. Пономаренко М. В., Лукін В. В. Оцінювання якості візуальних даних: монографія. Харків: НАУ "ХАІ", 2018. 214 с.
5. Рубан І. В. Методи оцінювання якості зображень без використання еталону в мультимедійних системах. Системи обробки інформації. 2016. № 4 (141). С. 15–19.

Дацюк Андрій Іванович – здобувач 2-го курсу, групи ІКІТС-24м, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dandrii2910@gmail.com.

Науковий керівник: **Карпинець Василь Васильович** – кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: karpinets@vntu.edu.ua.

Datsiuk Andrii Ivanovych – 2nd-year student, Faculty of Management and Information Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: karpinets@vntu.edu.ua.

Supervisor: **Karpinets Vasyl Vasylovych** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: karpinets@vntu.edu.ua.