УДК 621.396.969:629.73.014.2

СИСТЕМА ЛАЗЕРНОГО ТЕГУВАННЯ ДЛЯ МАЛИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У РЕЖИМІ ПОВІТРЯНОГО ЗМАГАННЯ

Яровий А.П.[1]; Павлов О.Л., к.т.н., доц.[2]
[1,2]Національний університет «Одеська політехніка»
[1,2]Україна, Одеса
[1]2473473@stud.op.edu.ua; [2]oleksii.pavlov@op.edu.ua

Анотація. *Запропоновано систему лазерного тегування для малих літальних апаратів (МЛА) класу Whoop, що дозволяє проводити повітряні змагання між FPV-дронами з автоматичною реєстрацією влучань. Розглянуто спосіб отримання відповідної команди безпосередньо з каналу керування пілота через протокол MSP без зміни прошивки польотного контролера, обґрунтовано вибір оптичного каналу для відображення ходу змагання в режимі реального часу. Коректність процесу обміну даними з польотним контролером перевірено експериментально.*

Ключові слова: *малий літальний апарат; FPV-дрон; лазерне тегування; протокол MSP; мікроконтролер ESP32-S3; повітряне змагання.*

Вступна частина. Підготовка FPV-пілотів, зокрема операторів дронів перехоплювачів, потребує відпрацювання навичок повітряного бою, а саме виявлення, переслідування та ураження рухомої повітряної цілі. Комп'ютерні симулятори не відтворюють повною мірою реальну фізику польоту, можливі затримки роботи відеоканалу та поведінку акумулятора під навантаженням, тому їх доцільно доповнювати натурними тренуваннями на реальних мікродронах [1]. Наявні на ринку рішення є або закритими іграшковими комплектами з власними дронами, або платами-доповненнями без серверної частини та без інтеграції з каналом керування FPV-дрона [2].

Метою даної роботи є розробка системи лазерного тегування, яка встановлюється на серійний FPV-дрон без доопрацювання його прошивки, отримує команду «постріл» з апаратури керування пілота, реєструє влучання з ідентифікацією стрільця та передає результати на сервер моніторингу.

Основна частина. Загальну структуру системи тегування наведено на рис. 1. Пілот формує команди на апаратурі керування, які передаються радіоканалом ExpressLRS (ELRS) з частотою 2,4 ГГц до бортового приймача (RX), а приймач у форматі CRSF передає їх польотному контролеру (FC). Бортовий модуль на основі мікроконтролера ESP32-S3 [3] підключається до FC через штатний порт USB і зчитує дані каналів керування за протоколом MSP [4]. За командою пілота модуль формує «постріл» лазерним модулем 650 нм (KY-008) або ІЧ-світлодіодом 940 нм (TSAL6200), а матриця з чотирьох фотоприймачів (TEMT600 або BPW34) реєструє влучання з будь-якого напрямку. Інформація про події передається на сервер через канал Wi-Fi.

Алгоритм роботи бортового модуля (рис. 2) складається з двох паралельних функцій, які розподіляються між ядрами мікроконтролера ESP32-S3:

- циклічне опитування польотного контролера FC з генерацією сигналу ШІМ при активному стані каналу «постріл» (функція «постріл»);
- опитування фотоприймачів з визначенням стрільця за частотою сигналу (функція «реєстрація влучань»).

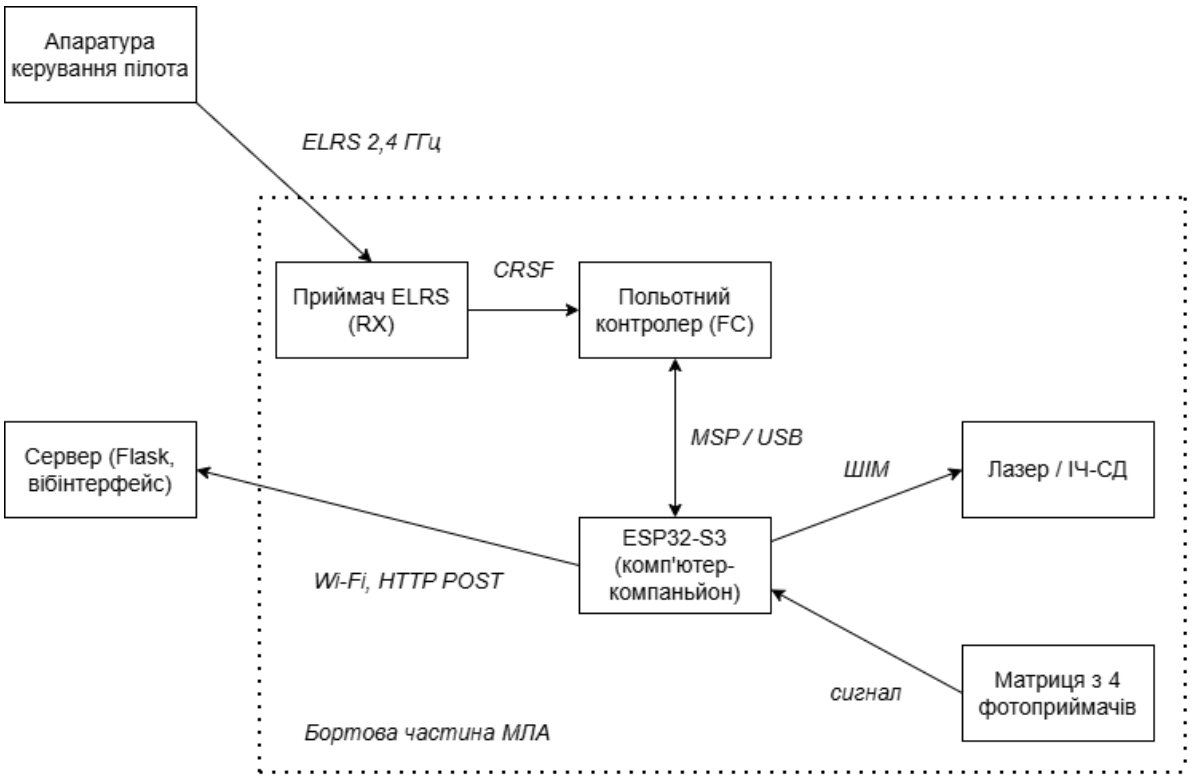


Рис.1 – Структурна схема системи лазерного тегування МЛА

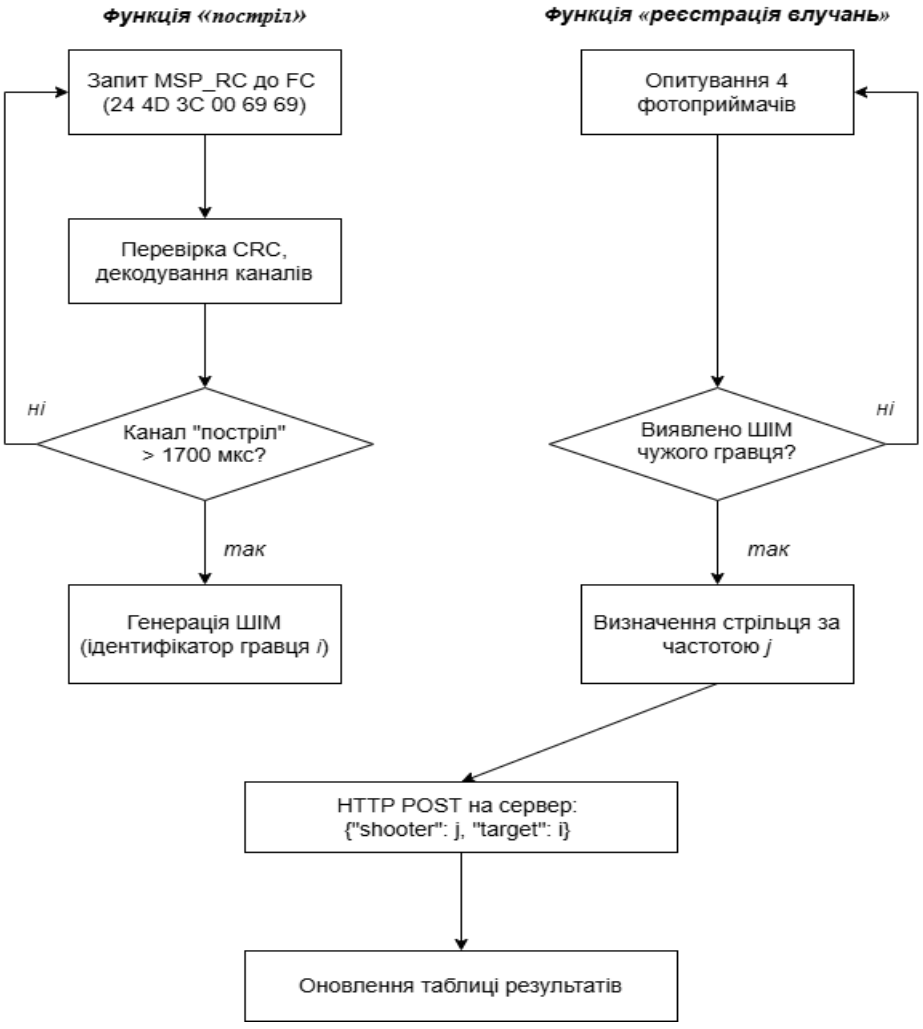


Рис.2 – Алгоритм роботи бортового модуля

Кожне влучання передається на сервер HTTP у вигляді POST-запиту. В якості центральної бази даних використовується Flask-сервер, який зберігає поточний стан гравців у JSON-файлі та відображає таблицю результатів для 2-10 учасників у веб інтерфейсі.

Висновки. Запропоновано систему лазерного тегування для малих літальних апаратів класу Whoop, яка встановлюється на серійний FPV-дрон через штатний порт USB польотного контролера та не потребує зміни його прошивки. Експериментально підтверджено отримання й декодування сигналів з каналів керування за протоколом MSP, що дозволяє використовувати будь-який допоміжний канал апаратури керування як команду «постріл». Серверна частина забезпечує автоматичне суддівство та відображення ходу змагання в реальному часі. Подальші дослідження передбачають повітряні випробування лазерного та ІЧ-каналів і оптимізацію маси бортового модуля.

Використання інструментів ШІ. У роботі була використана модель штучного інтелекту Gemini 4 Argon для аналізу науково-технічної літератури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Chao, H., & Cao, Y. (2014). *Small unmanned aircraft systems guide: Design, control and deployment.* McGraw-Hill Education.

[2] Hayal, M. R., Elsayed, E. E., Kakati, D., & Nurhidayat, I. (2023). *Towards optical wireless communications between micro unmanned aerial and ground systems. Optical and Quantum Electronics, 55(5),* 412–431.

[3] Lopez, R. T. (2023). *Fly your ESP32 drone on Betaflight with radio controller: Implementation of ESP-FC and serial communication*. Instructables Technology Series.

[4] Betaflight Open Source Team. (2024). *Betaflight MultiWii Serial Protocol (MSP) API reference for companion computers and external microcontrollers*. Betaflight Developer Documentation.

Yarovyi A.P., Pavlov O.L.

Laser tagning system for small aircraft in air competition mode

Abstract. *A laser tagging system for small aircraft of the Whoop class is proposed, which allows conducting air competitions between FPV drones with automatic registration of hits. A method of receiving the corresponding command directly from the pilot's control channel via the MSP protocol without changing the flight controller firmware is considered, the choice of an optical channel for displaying the progress of the competition in real time is justified. The correctness of the data exchange process with the flight controller is experimentally verified.*

Keywords: *small aircraft; FPV drone; laser tagging; MSP protocol; ESP32-S3 microcontroller; air competition.*