

О.Д. Азаров

М.А. Томчук

Д.С. Довгань

ІНТЕГРАЦІЯ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ НА ОСНОВІ OPENCV З АВТОПІЛОТОМ FPV ДРОНА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОТОКОЛУ MSP

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Дослідження присвячене оптимізації інтеграції системи комп'ютерного зору з автопілотом FPV-дрона для реалізації автоматичного захоплення та супроводу цілі в режимі реального часу. Система побудована на модулі Raspberry Pi 5, що виконує функції обробки відеопотоку та генерації команд керування. Для візуального аналізу застосовано бібліотеку OpenCV та алгоритм трекінгу MOSSE, які забезпечують високу швидкість на обмежених обчислювальних ресурсах. Обмін телеметричними даними та командами керування здійснюється через протокол Multiwii Serial Protocol (MSP), що дозволяє напряму впливати на канали автопілота Betaflight. Запропонований підхід дозволяє реалізувати режим візуального наведення, коли ціль обирається оператором через AUX-канал пульта, а подальше керування дроном здійснюється автоматично на основі координат трекера. Результати демонструють ефективність поєднання комп'ютерного зору та MSP для побудови автономних елементів керування FPV-платформами.

Ключові слова: FPV-дрон; Raspberry Pi 5; OpenCV; MOSSE Tracker; Комп'ютерний Зір; MSP; Betaflight; Автоматичне Наведення; Супровід Цілі; Автопілот

Abstract

The research is dedicated to optimizing the integration of a computer vision system with an FPV drone autopilot to implement automatic target acquisition and tracking in real time.. The system is built on a Raspberry Pi 5 module that performs the functions of video stream processing and control command generation. The OpenCV library and the MOSSE tracking algorithm are used for visual analysis, which provide high performance on limited computing resources. AUX channel of the remote control, and further control of the drone is carried out automatically based on the coordinates of the tracker. The exchange of telemetry data and control commands is carried out via the Multiwii Serial Protocol (MSP) protocol, which allows direct influence on the Betaflight autopilot channels. The proposed approach allows implementing a visual guidance mode when the target is selected by the operator via the AUX channel of the remote control, and further control of the drone is carried out automatically based on the coordinates of the tracker. The results demonstrate the effectiveness of combining computer vision and MSP for building autonomous control elements for FPV platforms

Keywords: FPV Drone; Raspberry Pi 5; OpenCV; MOSSE Tracker; Computer Vision; MSP; Betaflight; Automatic Guidance; Target Tracking; Autopilot

Вступ

Сучасні FPV-дрони демонструють значний потенціал у сферах розвідки, навігації та точного ураження цілей, однак їх можливості здебільшого залежать від навичок оператора та якості зворотного відеозв'язку. Інтеграція систем комп'ютерного зору безпосередньо на бортове обладнання відкриває можливість часткової або повної автоматизації процесів наведення та стабілізації польоту. Особливо актуальним є створення легких, швидкодіючих та енергоефективних рішень, здатних працювати в умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

У запропонованому дослідженні розглядається розробка та впровадження модуля комп'ютерного зору на базі OpenCV та Raspberry Pi 5, який забезпечує автоматичне виявлення, захоплення та супровід цілі у відеопотоці FPV-дрона. Передача команд керування здійснюється через протокол Multiwii Serial Protocol (MSP), що дозволяє напряду змінювати RC-канали автопілота Betaflight. Така інтеграція створює основу для реалізації системи "візуального автопілота", де оператор визначає лише факт захоплення цілі, а подальше утримання об'єкта в центрі кадру виконується автоматично.

Актуальність роботи обумовлена потребою у створенні компактних та економічних систем штучного зору, здатних підвищити ефективність FPV-платформ, особливо у випадках виконання задач з високою динамікою або обмеженою стабільністю сигналу.

Представлене рішення демонструє можливість поєднання алгоритмів трекінгу MOSSE, оптимізованих під слабкі обчислювальні ресурси, з можливостями MSP для формування малозатратного та надійного комплексу автономного наведення.

Результат дослідження

У результаті проведеного дослідження було розроблено та інтегровано програмно-апаратний модуль комп'ютерного зору, орієнтований на роботу в умовах обмежених обчислювальних ресурсів борту FPV-дрона. Основна увага приділялась побудові стабільної системи виявлення, захоплення та супроводу цілі з можливістю передачі керуючих команд до автопілота через протокол MSP (MultiWii Serial Protocol). Розроблене рішення поєднує алгоритми обробки зображень на основі бібліотеки OpenCV, детектор об'єктів на базі моделей сімейства YOLO, а також інтерфейс обміну телеметричними та керуючими даними з польотною контролерною системою Betaflight.

Під час тестування системи було реалізовано механізм динамічного захоплення цілі, який дозволяє оператору FPV-дрона активувати режим супроводу за допомогою призначеного каналу AUX на апаратурі. На відміну від традиційних рішень, де обробка команд AUX реалізується одноразово або з мінімальною частотою, запропонований модуль забезпечує періодичне сканування станів каналів, що дозволяє повторно активувати та деактивувати захоплення без потреби перезапуску системи. Це підвищує адаптивність модуля та покращує зручність його використання під час реального польоту.

У процесі інтеграції було розроблено механізм перетворення координат цілі у коригувальні MPC-команди автопілота, що дозволило забезпечити плавне наведення без різких рухів дрона. Для компенсації шумів та стрибків координат застосовано фільтрацію даних та обмеження швидкості зміни керуючих сигналів. Це дозволило уникнути надмірних прискорень та забезпечити стабільну поведінку дрона навіть за умов непостійного освітлення та коливання зображення.

Окрему увагу приділено оптимізації роботи моделю детекції для використання на обмежених обчислювальних платформах, таких як Raspberry Pi 5, де ресурс процесора та GPU є критичними. Було проведено зменшення роздільної здатності кадру, оптимізацію частоти оновлення, а також введено механізм синхронізації швидкості обробки відеопотоку, що дозволило уникнути прискореного відтворення відеоряду та забезпечити стабільний FPS під час реальної роботи системи.

Випробування показали, що система коректно відстежує та супроводжує об'єкт навіть у випадках часткових перекриттів, швидких маневрів цілі або короточасних втрат детекції. Завдяки механізму «м'якого» переспрямування дрона та повторного захоплення після втрати об'єкта забезпечено підвищення надійності роботи модуля у динамічних польотних умовах.

Таким чином, результати дослідження підтверджують ефективність розробленого рішення для автономної допоміжної навігації FPV-дронів та демонструють можливість його подальшої інтеграції у складніші системи цілевказання та напівавтоматичного керування.

Висновки

Проведене дослідження дозволило сформулювати низку важливих висновків щодо оптимізації систем комп'ютерного зору та їх інтеграції з автопілотом FPV-дрона засобами протоколу MSP. У роботі було розроблено та апробовано функціональну архітектуру, яка забезпечує автоматичне виявлення, захоплення та супровід цілі з передачею коригувальних команд польотному контролеру в режимі реального часу.

Одним із ключових результатів стало впровадження механізму динамічної активації та деактивації супроводу за допомогою AUX-каналу апаратури керування. Це дало змогу усунути попередні обмеження, коли система реагувала на сигнал лише одноразово та не підтримувала повторні цикли «захоплення–відпускання». Реалізований алгоритм постійного моніторингу станів AUX-каналів забезпечив стабільну взаємодію між оператором і модулем комп'ютерного зору навіть у швидкозмінних умовах польоту.

Додатково, оптимізація обробки відеопотоку та введення обмежень на швидкість реакції системи дозволили зменшити надмірну чутливість алгоритму та досягти більш плавної поведінки дрона. Завдяки фільтрації координат та коригуванню частоти оновлення команд було підвищено стійкість супроводу цілі та зменшено вплив шумів, спричинених рухом носія або нестабільністю відеосигналу.

Проведені експерименти підтвердили, що інтеграція OpenCV та моделі YOLO на малопотужній платформі, такий як Raspberry Pi 5, є можливою без значної втрати продуктивності, за умови застосування оптимізацій обчислювальних процесів. Це відкриває перспективи використання подібних рішень у FPV-дронах для покращення автономності, підвищення точності наведення та зменшення навантаження на оператора.

У цілому результати роботи демонструють перспективність та практичну цінність створеної системи. Запропоновані підходи можуть бути розвинені шляхом інтеграції більш складних моделей штучного інтелекту, застосуванням апаратного прискорення та розширенням функціоналу для роботи у складі комплексних безпілотних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1804.02767>
2. Ultralytics. YOLOv5 Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://docs.ultralytics.com/>
3. Official OpenCV Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://docs.opencv.org/>
4. Betaflight Developers. MSP Protocol Specification [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/MSP>
5. Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi 5: Technical Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.raspberrypi.com/documentation/>
6. Bouguet J.-Y. Pyramidal Implementation of the Lucas-Kanade Feature Tracker [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://robots.stanford.edu/cs223b04/algo_tracking.pdf
7. Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/a-flexible-new-technique-for-camera-calibration/>
8. Hauke M., Schuster R. Real-Time Vision Processing on Embedded UAV Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/>
9. TensorRT Optimization Guide [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://docs.nvidia.com/deeplearning/tensorrt/>
10. OpenVINO Toolkit Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://docs.openvino.ai/>
11. Semeniuk O. Integration of Neural Object Detection into UAV Navigation Loops [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uav-conference.org/>

Азаров Олексій Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри ОТ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: azarov2@vntu.edu.ua

Томчук Микола Антонович – кандидат технічних наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: tomchuk@vntu.edu.ua

Довгань Дмитро Сергійович – студент групи 2Кі-24м, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: d.....@gmail.com