

ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ ТРЕКІНГУ ОБ'ЄКТУ ПО ВІДЕОЗОБРАЖЕННЮ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОНОМНОЇ ФУНКЦІЇ СЛІДУВАННЯ ЗА ЦІЛЛЮ ДЛЯ БПЛА

Національний авіаційний університет

Вступ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) активно використовуються для широкого спектру задач цивільного та військового призначення [1, 2]. В аграрному секторі вони застосовуються для спостереження та обробки полів, в цивільному секторі для виявлення пожеж, для відеозйомок та багато іншого. Окремим напрямом розвитку БПЛА та їх автоматизації є логістика. Лідером у цій сфері є компанія *Amazon*, котра вже застосовує БПЛА для доставки поштових відправлень клієнтам [3].

За даними «Markets and Markets», ринок БПЛА демонструє стрімке зростання, з прогнозованим обсягом у \$58.4 мільярдів до 2026 року [4]. Зокрема, сегмент автономних БПЛА показує найбільший приріст, що підкреслює актуальність розробки систем автономного керування.

Найбільш поширеним способом керування БПЛА є безпосереднє керування оператором з пульта, або завчасна побудова маршруту місії для БПЛА та завантаження підготовлених даних за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (*Mission Planner*, *QGroundControl*) в пам'ять польотного контролера, базуючись на *GPS* координатах.

Розглядаючи динамічний підхід, керування з пульта, варто вказати суттєве обмеження як дистанція роботи каналу зв'язку між БПЛА та наземною станцією, а також перешкоди в цьому каналі. Одним з рішень, як протидіяти перешкодам використовують підхід по динамічній зміні частот, коли оператор і сам БПЛА динамічно визначає наявність перешкоди на певній

частоті та змінює свою частоту каналу зв'язку на альтернативні. Альтернативним підходом у вирішенні проблеми з каналом зв'язку є розробка систем, які дозволяють оператору на відстані обрати об'єкт слідування або зближення, зафіксувати його та перевести роботу БПЛА в автономний режим.

Задача слідування БПЛА за заданим оператором об'єктом в автономному режимі

Для вирішення цієї задачі розглядають різні підходи. Можуть застосовуватися додаткові датчики на самому літальному апараті – лідари, можна застосовувати датчики наведення на теплове випромінювання – цей підхід відомий для зенітних ракет. Серед найдоступнішим технічних рішень – використання відеокамери та аналіз отриманого з неї відеопотоку.

В роботі розглянуто програмно-апаратну архітектуру (рис. 1) для вирішення поставленої задачі слідування БПЛА за заданим об'єктом в автономному режимі.

Зображені окремі компоненти є важливими для реалізації алгоритмів автономного керування пристроєм на базі обробки відеопотоку.

Програмна складова: модуль по роботі з відеопотоком, який забезпечує коректну роботу з окремими кадрами відео та врахування затримок і пропуску кадрів у випадку, якщо швидкодії комп'ютера-компаньйона не вистачає для своєчасної обробки кожного кадру, виокремлені кадри потрапляють у модуль обробки алгоритмами комп'ютерного зору, передобробка та використання реалізованого за

допомогою бібліотеки *OpenCV* трекеру (*MOSSE*, *KCF*, *MeanShift*, *CamShift*, *CSRT*, *MIL*). Після роботи трекеру слідує формування вектору відхилення об'єкту від центра кадру та трансформування цього вектору відхилення у команди керування БпЛА. Наступним етапом команди направляються на БпЛА через *UART* з'єднання, використовуючи *MAVLink* протокол [5].

Порівняльний аналіз існуючих методів трекінгу об'єктів показує, що алгоритми на основі кореляційних фільтрів, такі як *CSRT*, демонструють оптимальне співвідношення точності та обчислювальної складності для задач реального часу на обмежених ресурсах БпЛА.

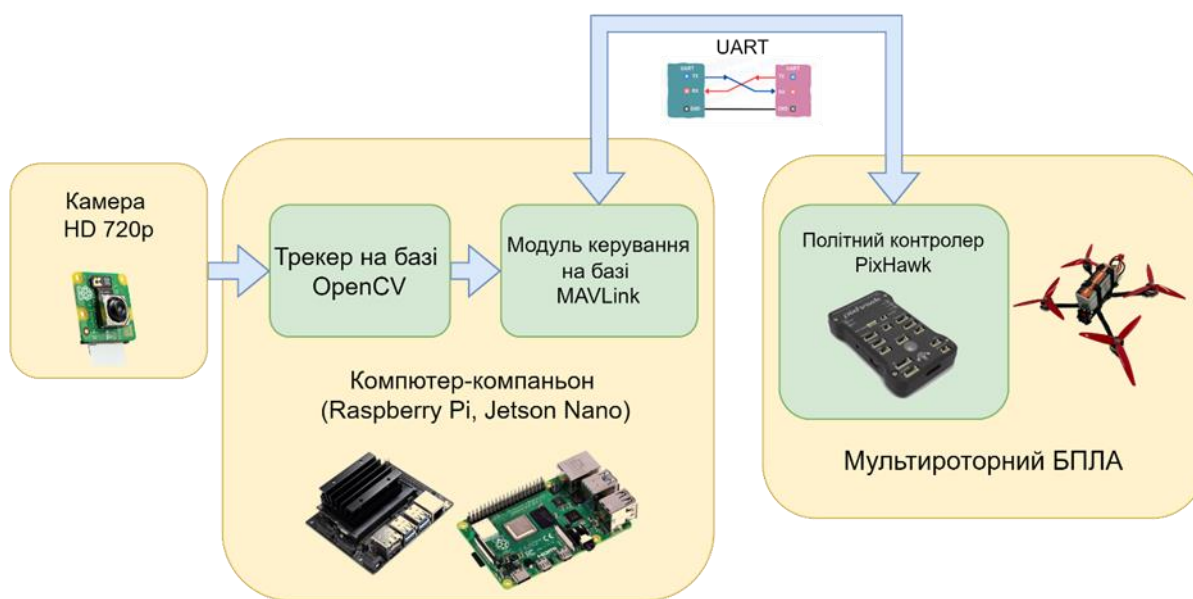


Рис. 1. Програмно-апаратна архітектура системи слідування за об'єктом

Реалізація програмної частини системи

В роботі реалізована програмна частина, що включає в обробку вхідного відео, яке поступає з камери, модуль, що дозволяє оператору вказати об'єкт на зображенні, за яким необхідно слідувати в подальшому, реалізована варіативність вибору алгоритму трекінгу, для того щоб при подальших дослідженнях можна було легко змінювати алгоритм. В ряді досліджень викладено порівняння існуючих систем позиціонування з різними показниками [6, 7], такими як швидкодія, точність та злиття даних, що є важливими для польоту БпЛА.

В роботі основним алгоритмом трекінгу обрано *CSRT* [8]. Алгоритм *CSRT* використовує інформацію про канал кольору для обробки змін зовнішнього вигляду об'єкту, спричинених варіаціями

освітлення. Він моделює цільовий об'єкт, використовуючи особливості кольору для підвищення точності відстеження. Результат роботи трекеру підлягає подальшому аналізу для формування вектору відхилення від центру кадру та формуванню вектору зміни позиції для БпЛА. Для демонстрації формування вектору відхилення на поточному етапі на кадрі зображується вектор синім кольором. Також результат трекара наноситься на відеопотік для візуального контролю його коректної роботи (рис. 2).

Окремо слід виділити додаткову обробку даних, що запобігає різкому або некоректному керуванню БпЛА. Дана обробка використовується у випадку, якщо на послідовності кадрів суттєво змінюється положення об'єкту слідування або коли трекер не знаходить об'єкт на кадрі. В

таких умовах керуючий вектор для дрону не підлягає зміні.



Рис. 2. Результат роботи трекінгу з вектором відхилення цілі від центру кадру

В програмі реалізований алгоритм відновлення трекінгу у випадку втрати об'єкта стеження. Для більш надійної роботи програмної складової додана можливість використання двох трекерів одночасно та злиття їх результатів роботи, видаючи усереднене значення розташування заданого об'єкту на кадрі. Проте, включення даного режиму впливає на швидкість роботи програмної частини, так як трекінг є найбільш ресурсоємним етапом. Рішення про використання або відключення цього функціоналу з надлишковістю буде залежати від апаратної складової. На більш потужному *NVIDIA Jetson Nano* буде достатньо потужностей, а на доступному *RaspberryPi* [9] доведеться використовувати результати лише одного алгоритму трекінгу.

Наступним етапом реалізації запропонованої системи згідно наведеної архітектури є інтеграція бібліотеки *MAVLink* [10] для передачі команд управління на польотний контролер та збірка апаратної частини для проведення експериментів безпосередньо з БПЛА.

Висновки

Запропоновано програмно-апаратну архітектуру системи для автономного слідування БПЛА за заданим об'єктом. Розроблено програмну частину, яка включає модулі обробки відеопотоку, трекінгу об'єкта та формування команд. Реалізовані

механізми підвищення надійності системи, такі як обробка даних для запобігання різким рухам та алгоритм відновлення трекінгу при втраті об'єкта.

Література

1. Dolintse B. I. Architecture of integrated navigation systems with enhanced coordinate accuracy and fault detection. *Problems of Informatization and Management*. 2023. Vol. 2, Iss. 74. P. 31–37. DOI: 10.18372/2073-4751.74.17878.
2. Zhukov I., Dolintse B., Balakin S. Enhancing Data Processing Methods to Improve UAV Positioning Accuracy. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*. 2024. Vol. 16, Iss. 3. P. 100–110. DOI: 10.5815/ijigsp.2024.03.08.
3. Mohsan S. A. H. et al. Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. *Intelligent Service Robotics*. 2023. Vol. 16, Iss. 1. P. 109–137. DOI: 10.1007/s11370-022-00452-4.
4. Unmanned Aerial Vehicle - Global Forecast. *Markets and Markets*. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/ResearchInsight/unmanned-aerial-vehicles-uav-market.asp> (дата звернення: 25.06.2024).
5. Patil R. R. et al. Qualified scrutiny for real-time object tracking framework. *International Journal on Emerging Technologies*. 2020. Vol. 11 (3). P. 313–319.
6. Khan N. A. et al. Emerging use of UAV's: secure communication protocol issues and challenges. *Drones in Smart-Cities: Security and Performance*. 2020. P. 37–55. DOI: 10.1016/B978-0-12-819972-5.00003-3.
7. Janku P. et al. Comparison of tracking algorithms implemented in OpenCV. *20th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers*. 2016. Vol. 76. 04031. DOI: 10.1051/mateconf/20167604031.
8. Hong T. et al. Real-Time Tracking Algorithm for Multi-Target UAV Based on Deep Learning. *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15(1). 2. DOI: 10.3390/rs15010002.
9. Ortega L. D. et al. Low-Cost Computer-Vision-Based Embedded Systems for

UAVs. *Robotics*. 2023. Vol. 12 (6). 145. DOI: 10.3390/robotics12060145.

10. Khan N. A. et al. A secure communication protocol for unmanned aerial

vehicles. *Computers, Materials and Continua*. 2021. Vol. 70(1), P. 601–618. DOI: 10.32604/

cmc.2022.019419.

Жуков І.А., Лукаш Ю.В.

ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ ТРЕКІНГУ ОБ'ЄКТУ ПО ВІДЕОЗОБРАЖЕННЮ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОНОМНОЇ ФУНКЦІЇ СЛІДУВАННЯ ЗА ЦІЛЛЮ ДЛЯ БПЛА

У статті розглянуто сфери застосування БпЛА. Описана проблематика керування БпЛА оператором через пульт управління. В роботі запропоновано підхід для реалізації автономної функції слідування за заданим об'єктом. Розроблено програмну частину, що складається з модулю обробки відеопотоку, трекінгу об'єкта та формування команд керування. В програмі додатково реалізовано механізми підвищення надійності системи, такі як обробка даних для запобігання різким рухам та алгоритм відновлення трекінгу при втраті об'єкта. Описано подальші кроки для інтеграції MAVLink бібліотеки для формування керуючих команд та збірка апаратної частини системи на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi та польотного контролера Pixhawk.

Ключові слова: БпЛА; OpenCV; розпізнавання образів; розпізнавання зображень; трекер; автономне керування; одноплатний комп'ютер.

Zhukov I.A., Lukash Y.V.

USING AN OBJECT TRACKING ALGORITHM BY VIDEO IMAGE FOR THE IMPLEMENTATION OF AN AUTONOMOUS TARGET TRACKING FUNCTION FOR UAV

The article examines the spheres of UAV commissioning. The problem of controlling the UAV by the operator through the control panel is described. The paper proposes an approach for implementing the autonomous function of following a given object. A software part consisting of a video stream processing module, object tracking, and control command generation was developed. The program additionally implements mechanisms to increase system reliability, such as data processing to prevent sudden movements and an algorithm to restore tracking when an object is lost. Further steps for the integration of the MAVLink library for the formation of control commands and the assembly of the hardware part of the system based on a Raspberry Pi single-board computer and a Pixhawk flight controller are described.

Keywords: UAV; OpenCV; pattern recognition; image recognition; tracker; autonomous management; single board computer.