

УДК 629.735.33:004.93

*Захарчук Г.А., здобувач,
Ткачук А.Г., к. т. н., доцент
Державний університет «Житомирська політехніка»*

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО СТЕЖЕННЯ БПЛА ЗА РУХОМИМ ОБ'ЄКТОМ

БПЛА активно впроваджуються в задачі моніторингу, патрулювання, відеоспостереження та супроводу динамічних об'єктів. Одним із ключових завдань у таких системах є забезпечення стійкого автоматичного стеження за об'єктом в умовах змінної освітленості, часткових перекриттів, фонових завад і маневрування самого носія. Традиційні підходи, що базуються на ручному керуванні або спрощених методах сегментації зображення, мають обмежену точність і недостатню робастність у реальних експлуатаційних умовах. У зв'язку з цим актуальним є створення інтегрованої системи, яка поєднує алгоритми комп'ютерного зору з контуром автоматичного керування польотом.

Запропонована система має чотириланкову архітектуру. Перша ланка представлена бортовою камерою БПЛА, яка формує потік RGB-зображень із частотою до 60 кадр/с. Друга ланка – обчислювальний модуль Jetson Nano, на якому реалізовано алгоритми комп'ютерного зору. Для первинної локалізації цільового об'єкта використовується нейромережева детекція, а для міжкадрового супроводу – кореляційний трекер CSRT. Така комбінація дає змогу зменшити обчислювальне навантаження та підвищити стійкість системи при короточасних втратах детекції.

На основі координат обмежувального прямокутника визначається центр об'єкта:

$$x_c = \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2}, \quad y_c = \frac{y_{\min} + y_{\max}}{2}$$

де W і H – ширина та висота кадру відповідно. Отримані величини характеризують зміщення об'єкта в полі зору камери та використовуються як сигнали похибки для системи керування.

Третя ланка архітектури реалізована на польотному контролері Pixhawk, який формує керуючі сигнали за PID-законом:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

де $e(t)$ – поточна похибка позиціонування об'єкта в кадрі, K_p , K_i , K_d – коефіцієнти пропорційної, інтегральної та диференціальної складових. Команди керування передаються через протокол MAVLink. Четверта

ланка включає виконавчі органи БПЛА – беззіткові двигуни, за допомогою яких здійснюється просторова корекція за каналами Pitch, Roll і Yaw.

Оцінювання ефективності запропонованої системи виконано в симуляційному середовищі Gazebo із підключенням Software In The Loop. Як об'єкт стеження використовувався рухомий наземний робот зі швидкістю до 2 м/с. У ході 50 експериментів визначено, що середня квадратична похибка центрування не перевищує 18 пікселів за умови прямолінійного руху об'єкта та 34 пікселі під час зміни траєкторії. Затримка від моменту надходження відеокадру до формування керуючого сигналу становила не більше 85 мс, що свідчить про придатність системи до роботи в режимі, близькому до реального часу.



Рис. 1. Порівняння середньої квадратичної похибки центрування та Затримка обробки відносно порогу реального часу

Отримані результати підтверджують ефективність інтеграції методів комп'ютерного зору із системою автоматичного керування БПЛА. Поєднання алгоритмів детекції та трекінгу забезпечує стійке супроводження рухомого об'єкта в динамічних умовах. Перспективами подальших досліджень є використання інфрачервоних камер для роботи в умовах недостатньої освітленості, а також застосування фільтра Калмана для прогнозування траєкторії цілі та згладжування керуючих впливів.

Список використаних джерел:

1. Tang, G.; Ni, J.; Zhao, Y.; Gu, Y.; Cao, W. *A Survey of Object Detection for UAVs Based on Deep Learning*. Remote Sensing, 2024, 16(1), 149. DOI: 10.3390/rs16010149. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/1/149>
2. He, Y.; Chao, C.; Zhang, Z.; Guo, H.; Ma, J. *UAV Visual Object Tracking Based on Spatio-Temporal Context*. Drones, 2024, 8(12), 700. DOI: 10.3390/drones8120700. URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/12/700>