

УДК 629.735.33:004.93

*Біленький І.О., здобувач,
Добржанський О.О., к. т. н., доцент
Державний університет «Житомирська політехніка»*

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ПОСАДКИ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІЗУАЛЬНИХ МАРКЕРІВ

Інтенсивне впровадження БПЛА у логістиці, моніторингу територій, аграрному секторі та рятувальних операціях актуалізує задачу забезпечення їх точної та безпечної посадки. На завершальному етапі польоту використання лише супутникової навігації не гарантує необхідної точності через похибки позиціонування, затримки вимірювань і можливі втрати сигналу. У зв'язку з цим перспективним є застосування засобів комп'ютерного зору, здатних забезпечити локальне високоточне наведення БПЛА на посадковий майданчик.

Метою роботи є розробка підходу до автоматичної посадки БПЛА на основі візуальних маркерів, який передбачає виявлення маркера у відеопотоці з бортової камери, оцінювання його просторового положення відносно камери та формування керуючих сигналів для корекції траєкторії польоту. Як маркер доцільно використовувати ArUco-мітки, оскільки вони мають контрастну геометричну структуру, високу завадостійкість і дозволяють надійно визначати положення та орієнтацію об'єкта у просторі.

Функціональну структуру запропонованої системи наведено на рис. 1. Відеодані з бортової камери надходять до модуля комп'ютерного зору, у якому виконується детектування ArUco-маркера та оцінювання вектора зміщення посадкової платформи відносно БПЛА. Далі на основі отриманих координат формується вектор похибки, який використовується регулятором для побудови керуючих впливів на автопілот. Такий підхід забезпечує поступове вирівнювання апарата над маркером і зменшує відхилення від заданої точки посадки.

Математична модель визначення положення маркера може бути подана рівнянням проєкції:

$$s \cdot p = K[R|t]P,$$

де p – координати точки маркера на зображенні; K – матриця внутрішніх параметрів камери; R і t – матриця обертання та вектор перенесення, що описують положення камери відносно маркера; P – координати точки маркера у світовій системі координат. На основі оцінених параметрів формується вектор похибки $e = [\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta \psi]^T$, який використовується для корекції положення, висоти та курсу БПЛА на етапі заходу на посадку.

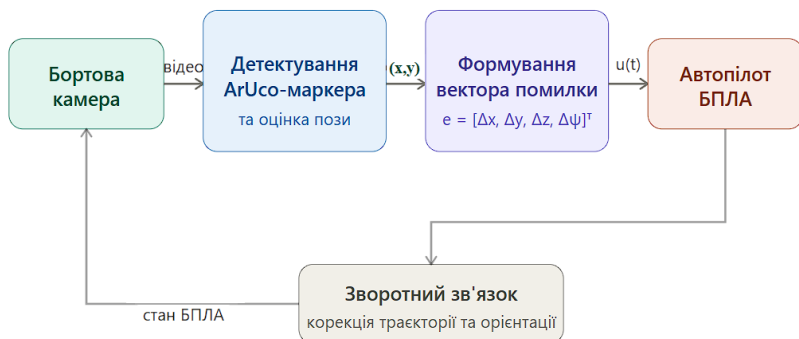


Рис.1. Структурна схема системи автоматичної посадки БПЛА

Очікуваними перевагами запропонованого підходу є підвищення точності посадки на обмежені платформи, зниження залежності від супутникових навігаційних систем і підвищення надійності роботи в умовах часткового зашумлення або нестабільного сигналу GPS. Практична реалізація системи може бути корисною для автономних безпілотних платформ, що працюють у міських умовах, на промислових об'єктах або у важкодоступних районах. Подальші дослідження доцільно спрямувати на моделювання роботи алгоритму, експериментальну перевірку точності посадки та оцінювання стійкості системи до зміни освітлення, висоти й кута огляду камери.

Список використаних джерел:

1. Xin, L., Tang, Z., Gai, W., Liu, H. Vision-Based Autonomous Landing for the UAV: A Review. *Aerospace*, 2022, 9(11), 634. DOI: 10.3390/aerospace9110634. URL: <https://www.mdpi.com/2226-4310/9/11/634>
2. Semerikov, S.O., Nechypurenko, P.P., Vakaliuk, T.A. et al. Vision-Based Autonomous UAV Landing: A Comprehensive Review of Technologies, Techniques, and Applications. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2025, 111, 115. DOI: 10.1007/s10846-025-02314-4. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10846-025-02314-4>
3. Lv, M., Fan, B., Fang, J., Wang, J. Autonomous Landing of Quadrotor Unmanned Aerial Vehicles Based on Multi-Level Marker and Linear Active Disturbance Reject Control. *Sensors*, 2024, 24(5), 1645. DOI: 10.3390/s24051645. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/5/1645>