
УДК 629.7.051.83

**АВТО МАСШТАБОВАНИЙ АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ ОРІЄНТИРА
«TARGET IN TARGET» ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ ПОСАДКИ БПЛА**

Сарибога Г.В., Котвицький Р.С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: Дослідження в напрямку системи технічного зору (СТЗ) та її інтегрування в систему керування безпілотного літального апарату (БПЛА) спрямовані на вирішення декількох найважливіших задач – стеження БПЛА за орієнтиром та автоматична посадка на орієнтир. Суттєвою проблемою є використання СТЗ в задачах автоматичної посадки БПЛА на малій висоті без використання інерційних датчиків/висотомірів, тому що суттєво зменшується точність посадки в існуючих алгоритмах керування БПЛА.

СТЗ в даний час є одним з головних засобів розвитку автоматичних систем керування рухом в умовах, коли обсяг апріорної інформації не достатній і для вирішення завдань керування необхідний аналіз зовнішньої обстановки в режимі реального часу. Прогрес у електроніці, комп'ютерній техніці та програмуванні дає можливість використовувати оптичні прилади та системи у широкому спектрі приладів споживчого ринку. Проблеми дослідження використання СТЗ у авіації для навігації або наведення присвячено багато робіт, проте дане дослідження не втрачає своєї актуальності, оскільки нерозв'язних питань доволі багато.

Суттєвою проблемою використання СТЗ в керуванні БПЛА є його синхронізація органів керування (гвинти-двигуни) з комп'ютерним зором.

Наступна нерозв'язана задача залишається в оптимізації зображення місцевості, оскільки на СТЗ дуже суттєво впливає зміна стану навколишнього середовища (освітленість,

яскравість, інтенсивність). Алгоритми ідентифікації об'єктів є дуже чутливими до цих параметрів, а при неоптимальній обробці зображення можуть виникати шуми на зображенні. Також проблемою є підбір необхідних фільтрів шумів, оскільки неправильна фільтрація може призвести до втрати важливої інформації з зображення місцевості, що в свою чергу може призвести до нездатності знаходження необхідних об'єктів.

Проблема надійності даних систем: використання одного методу ідентифікації цілі є не завжди надійним, тому краще комбінувати різні методи, особливо різні за їх природою розпізнавання. Більшість проектів використовують тільки один метод розпізнавання.

Повністю невирішена задача посадки БПЛА на малій висоті на основі СТЗ без використання інерційних датчиків/висотомірів, що суттєво зменшує точність посадки в існуючих алгоритмах керування БПЛА при його зниженні.

Також проблематикою залишається вибір відповідного алгоритму ідентифікації цілі та саму ціль (його параметри та особливості), виходячи з поставлених задач, оскільки вони не є універсальні для кожного БПЛА та характеристик місцевості.

Для вирішення даних проблем в даній роботі розроблено алгоритм автоматичної посадки БПЛА типу квадрокоптер на основі СТЗ на спеціально визначене місце, яке має свою особливу символіку (символ і певні позначки).

Пропонується комбінований спосіб (який не залежить від глибини зображення для уникнення зайвих шумів) ідентифікації місця посадки, оснований на декількох методах розпізнавання як символу, так і певних особливостей/ознак майданчику посадки, для підвищення надійності даного алгоритму, а також введення в контур керування БПЛА закону виконання стабілізації в непередбачуваних ситуаціях (при втраті зображення чи цілі).

Підбираються та вводяться нові методи фільтрації для оптимізації та покращення зображення, максимальне видалення шумів. Комбінація даних фільтрів з методами розпізнавання місця посадки є особливим в даній роботі, оскільки йде підбір найбільш оптимального знаходження місця посадки в умовах всепогодності навколишнього середовища при умові, що є освітленість.

Вирішується проблема посадки на малих висотах за методом «target in target» (новий метод: розміщення об'єкту розпізнавання в самій символіці місця посадки, який можливо побачити тільки з малих відстаней, а також новий авто масштабований алгоритм розпізнавання символу). Очікується точність посадки ± 5 см між центром майданчика та вертикальною віссю БПЛА. Саме тому дана робота є **актуальною** науково-дослідною роботою.

Наукова новизна полягає у розробці алгоритмів автоматичного керування БПЛА на основі інформації з СТЗ та методів інтеграції СТЗ в контур керування БПЛА.

1) Вперше запропоновано авто масштабований алгоритм розпізнавання орієнтира за методом «target in target» для вирішення проблеми посадки БПЛА на малих висотах.

2) Вдосконалено метод комплексування алгоритмів ідентифікації орієнтира, які мають різні принципи роботи.

3) Розвинено метод використання нових фільтрів з максимальним видаленням шумів для оптимізації зображення місцевості з використанням фільтру Калмана.

Формалізація задачі: на вхід подається зображення сцени із камери і зображення цільового плоского об'єкту (наприклад символ «Н»). Завдання - знайти цільовий об'єкт на зображенні сцени, його точні координати відносно зображення сцени, і видати значення цих координат на систему керування для здійснення наведення БПЛА (керування двигунів БПЛА) на ціль для стабілізації та посадки.

Дана система технічного зору може знайти практичне застосування в розвідувальних операціях, відтворення карт місцевості, спостереження території, транспортування різних посилок. Наприклад, нехай ми відправляємо наш БПЛА з точки А до точки Б. По GPS навігатору ми даємо координати точки Б. В автономному режимі він здійснює переліт.

Опинившись на координатах кінцевої точки його траєкторії, він виконує автоматичну посадку на вказане місце (символ «Н») без втручання людини.

Практичне значення отриманих результатів визначається вимогами, які висуваються до системи об'єкта, на якому буде розташовуватися комплексна система. Такий підхід дозволить визначити доцільність використання комплексної системи на об'єкті та модернізувати алгоритм обробки інформації.

Мета даної роботи полягає в розробці авто масштабованого алгоритму розпізнавання орієнтиру «target in target» для автоматичної посадки БПЛА на малих висотах по координатам від СТЗ.

За результатами проведеної симуляції розроблений алгоритм здійснює посадку БПЛА з похибкою в планарних координатах не більше 5см. На такий показник впливає не досліджені поки що похибки інерціально вимірювальних модулів ІНС.

Алгоритм автоматичної посадки БПЛА типу квадрокоптер. Маючи приблизні значення положення орієнтиру відносно квадрокоптеру, будуємо траєкторію посадки БПЛА (рис. 1).

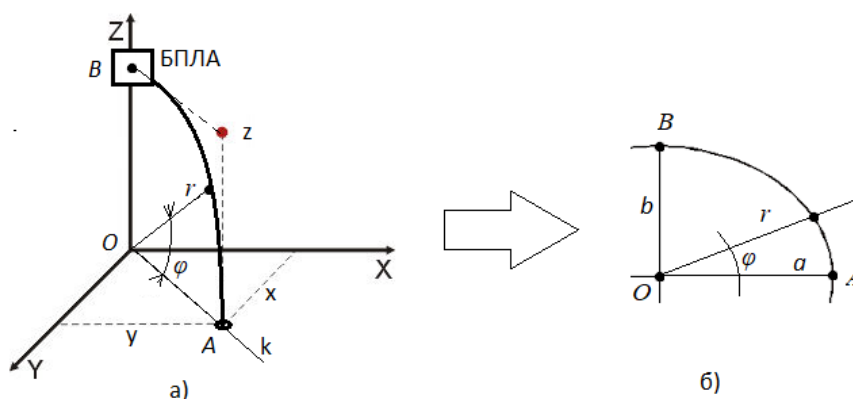


Рис. 1. Перехід від 3-х вимірної моделі (а) побудови траєкторії до 2-х вимірної моделі(б)

а) для побудови так званих точок шляху розглядаємо траєкторію в площині BOA;

б) коли осі $OA = k_0 = a = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$, а $OB = b = z_0$, де (x_0, y_0, z_0) – початкові значення БПЛА відносно положення орієнтира. Застосовуємо полярні координати:

$$z = r * \sin(\varphi), \quad (1)$$

$$k = r * \cos(\varphi), \quad (2)$$

та формули еліпса

$$r = \frac{a*b}{\sqrt{a^2*(\sin(\varphi))^2 + b^2*(\cos(\varphi))^2}}, \quad (3)$$

$$x = k * \frac{x_0}{k_0}, \quad (4)$$

$$y = k * \frac{y_0}{k_0}, \quad (5)$$

Таким чином отримуємо змінні (x, y, z) , які відповідають параметрам положення орієнтира відносно БПЛА.

Дискретизація траєкторії відбувається при завданні відповідних кутів φ та точок траєкторії. Для автоматичної посадки БПЛА з урахуванням площі поверхні, що охоплюється оптичним датчиком, допустимими є наступні значення:

$$\varphi = \frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{3}; \frac{\pi}{6}; 0.$$

В результаті отримуємо 4 точки траєкторії:

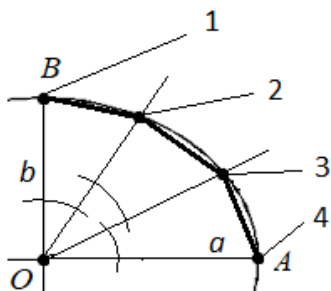


Рис. 2. Траєкторія шляху по еліпсу

Оптичний датчик охоплює меншу площу поверхні при зменшенні висоти БПЛА, оскільки кут огляду датчика залишається незмінним. Якщо розмір орієнтиру по одній стороні складає 1 метр, то при коефіцієнті оптичного збільшення $K = 1$ (кут огляду 53°) мінімально допустима висота розпізнавання орієнтиру також складає 1 м. Виходячи з цього, корегування посадки БПЛА не можливе існуючими алгоритмами СТЗ.

В даній роботі пропонується наступний метод вирішення даної проблеми. По даним СТЗ БПЛА підлітає до орієнтиру по визначеним точкам траєкторії, але остання точка має координати положення орієнтира відносно БПЛА на 2 метри вище. Це означає, що БПЛА по даним СТЗ стабілізується над орієнтиром на висоті 2 метри. Реалізація алгоритму побудови модифікованої траєкторії з урахуванням оптичних можливостей СТЗ для автоматичної посадки БПЛА здійснена засобами Matlab.

Контроль висоти відбувається як через інерціальну навігаційну систему (ІНС), так і через СТЗ. Досягнувши висоти 2 метри над орієнтиром, СТЗ починає працювати за іншим алгоритмом розпізнавання - «target in target», а ІНС корегує швидкість зниження та орієнтацію БПЛА.

Суть алгоритму розпізнавання «target in target» полягає у розпізнаванні орієнтиру таким чином, що залежно від висоти БПЛА виконується автоматична зміна алгоритму розпізнавання орієнтиру.

Для симуляції роботи алгоритму використовуємо символ посадочного майданчику-літеру «Н» у колі. На більших висотах розпізнаємо спочатку коло контурним методом, а при наближенні камери до орієнтиру (при зменшенні висоти H), коло виходить за рамки обзору камери, тому ідентифікуємо символ методом розпізнавання по особливим точкам, що знаходяться на перетині ліній(рис.3,4).

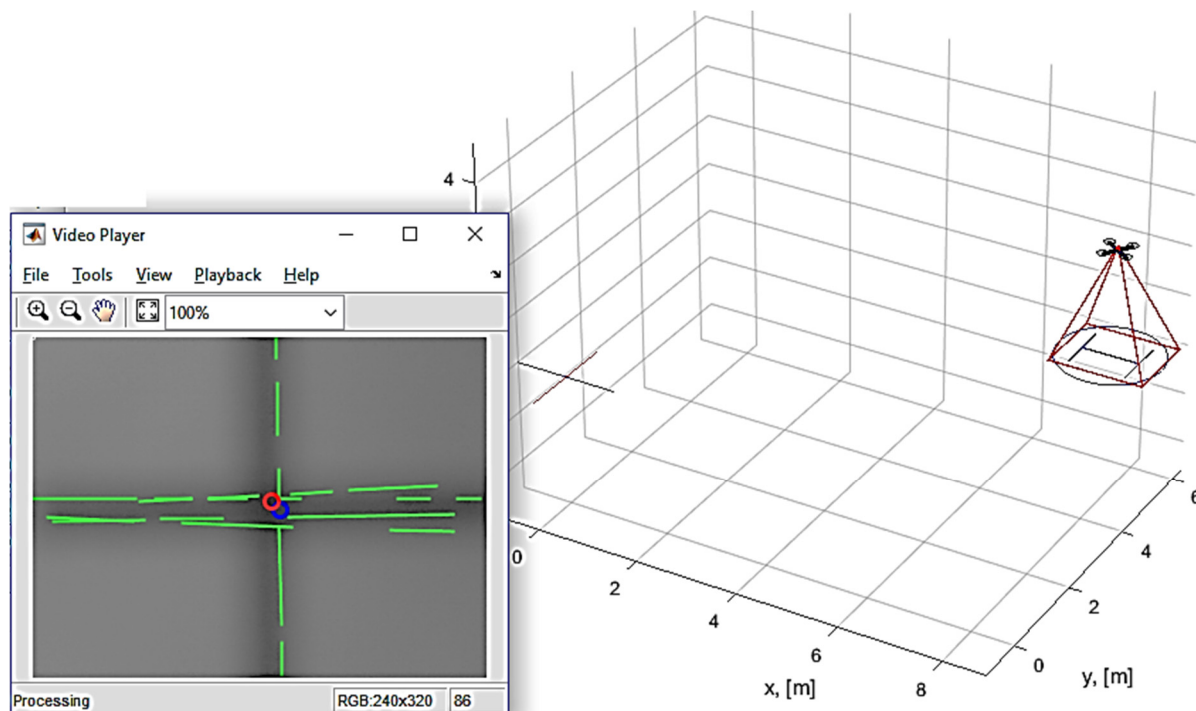


Рис. 3. Демонстрація виходу кола за межі зображення

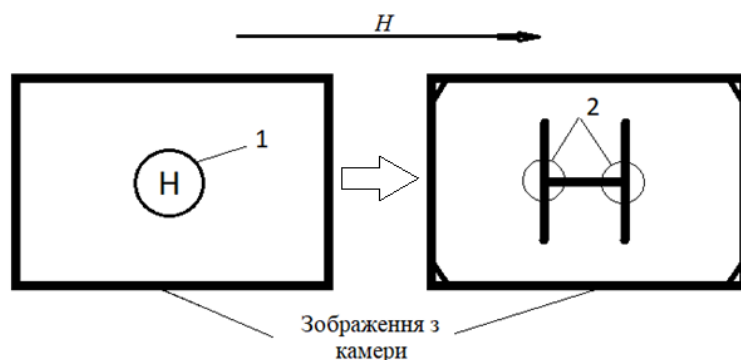


Рис. 4. Розпізнавання орієнтира на різних висотах БПЛА: 1 – коло; 2 – особливі точки

Симуляція автоматичної посадки квадрокоптера з використанням розроблених алгоритмів засобами Matlab

Хід симуляції:

- 1) Стабілізація БПЛА з початковими координатами (0;0;20м).
- 2) Пошук орієнтиру оптичним датчиком.
- 3) Розпізнавання орієнтиру та визначення його координат.
- 4) Побудова траєкторії до орієнтиру.
- 5) Стабілізація БПЛА на висоті 2 м.
- 6) Виконання алгоритму «target in target».
- 7) Автоматична посадка БПЛА на орієнтир.

Симуляція проходить в режимі реального масштабу часу (червона лінія – політ по 3 осям; синя – проекція червоної лінії на площину XU – горизонт).

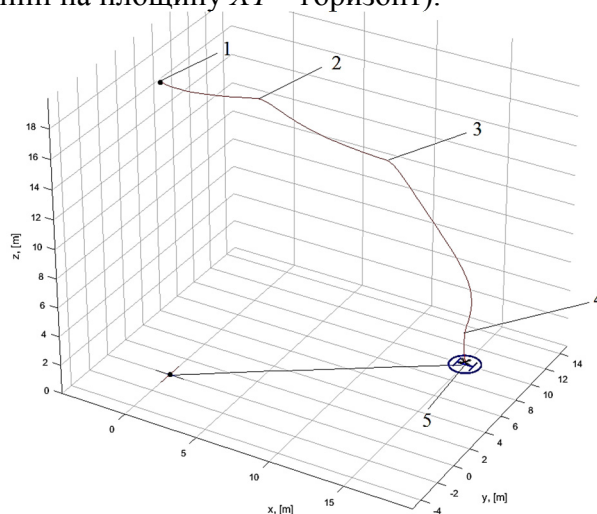


Рис. 5. Симуляція автоматичної посадки БПЛА

1 – початкові координати БПЛА; 2,3 – точки траєкторії посадки; 4 – точка траєкторії на висоті 2 метра; 5 – кінцева посадка БПЛА.

Таким чином, маючи приблизні значення положення орієнтиру відносно БПЛА, ми будемо траєкторію посадки. За критерієм ефективності (швидкодія та надійність) найкращим вибором форми траєкторії посадки БПЛА є еліпс.

Висновки

Розроблено новий авто масштабований алгоритм розпізнавання орієнтира «target in target» для вирішення задачі посадки БПЛА на малих висотах; працездатність даного алгоритму підтверджено симуляцією засобами Matlab.

За результатами проведеної симуляції розроблений алгоритм здійснює посадку БПЛА з похибкою в планарних координатах не більше 5см. На такий показник впливає не досліджені поки що похибки інерціально вимірювальних модулів ІНС.

Список літератури

1. *Сарибога Г.В.* Метод визначення координат рухомого об'єкту з використанням системи технічного зору /Котвицький Р.С., Збруцький О.В., Сарибога Г.В. // Інформаційні системи, механіка та керування.-2017.-№16. С. 71-78
 2. *Сарибога Г.В.* Автоматичне керування оптичною віссю камери на основі системи технічного зору з використанням методу ідентифікації об'єктів за кольором/Котвицький Р.С., Збруцький О.В., Сарибога Г.В. // Інформаційні системи, механіка та керування.-2015.-№13. С. 111-115
 3. *Мариношенко А. П.* Использование методов особых точек с целью улучшения идентификации и детектирования навигационных сигналов [Текст] / А. П. Мариношенко, А. А. Пикенин // Молодий вчений. — 2018. — №4.
 4. *О. Marynoshenko, R. Głębocki* Algorithm for formation flight of unmanned aerial vehicles / Polskie towarzystwo mechaniki teoretycznej i stosowanej, mechanika wlotnictwie, tom 1, ml-xvii 2016. pp. 103-111. isbn 978-83-932107-8-
-