

УДК 629

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804182018122667>

Кравченко К. В.¹, бакалавр, Прохорчук О. В.², доцент, к.т.н.

СИНТЕЗ ТРАЄКТОРІЇ ПОЛЬОТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

En The purpose of the research (work) is to develop an algorithm for constructing a minimum UAV trajectory for solving the problem of spray trihograms. The following methods are used: construction of the trajectory by control points.

The algorithm for constructing the flight path of an unmanned aerial vehicle (UAV) was proposed for solving agricultural tasks. The algorithm, based on input data such as: the size of the field, the take-off point and the landing point, builds the minimum flight path that is required to handle the specified field, taking into account the minimum radius of a plane parallel parachute UAV.

The developed algorithm can also be used in other areas of UAV development, for example, cargo transportation or object security.

Ru Использованный метод построения траектории по контрольным точкам и предложен алгоритм построения траектории полета беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для решения сельскохозяйственных задач. Алгоритм, на основе входных данных, таких как: размер поля, точка взлета и точка посадки, строит минимальную траекторию полета, которая необходима для обработки указанного поля, с учетом минимального радиуса плоского разворота БПЛА. Разработанный алгоритм можно использовать в других направлениях развития БПЛА, например транспортировке груза или охрана объектов.

¹ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», факультет авіаційних і космічних систем

² НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», кафедра приладів та систем керування літальними апаратами

Вступ

Одним із перспективних напрямків розвитку для БПЛА у нашій країні є сільське господарство. Наголошують такі основні задачі, які вирішують сільськогосподарські БПЛА: моніторинг земель, аерофотозйомка, внесення біологічних засобів захисту [1].

З огляду літератури відомо про внесення трихограми за допомогою БПЛА, що дозволяють вести боротьбу зі шкідниками [2]. Для розпилення трихограми була запропонована система керування БПЛА для польоту на малих висотах [3].

До невирішених задач відноситься побудова траєкторії польоту із урахуванням мінімального радіусу розвороту БПЛА, та мінімізація траєкторії під час вирішення задачі розпилення трихограми.

Постановка задачі

Метою роботи є розроблення методу синтезу оптимальної траєкторії польоту БПЛА із урахуванням його мінімального радіусу розвороту. Критерієм оптимальності є мінімальна довжина траєкторії для обльоту певного поля.

Визначення контрольних точок

Для побудови траєкторії БПЛА будемо використовувати метод побудови за заданими точками. В умовах задачі розпилення трихограми [4] контрольні точки, за яким будується траєкторія, повинні співпадати із точками висадження трихограми. Ці точки будуть розташовані у межах заданого поля. Нехай r – радіус розселення трихограми із місця висадження, S_1 – площа розповсюдження трихограми з одного

висадження. Тоді, якщо S – площа поля, отримаємо $N = \frac{S}{S_1}$ – мінімальна

кількість точок для охоплення всього поля. Точки висадки мають бути розташовані так, щоб була досягнена максимальна площа розселення трихограми та мінімальна площа перекриття між двома зонами висадки.

Розрахунок мінімального радіусу розвороту БПЛА

Під час розвороту в горизонтальній площині відцентрова сила повинна бути врівноважена горизонтальною проекцією результуючої сили, яка діє у напрямку до центру розвороту, а маса БПЛА – її вертикальної проекцією. Результуюча сила включає в себе, у загальному випадку, аеродинамічні сили і силу тяги двигуна, проекція якої на осі підйомної

сили і бічну вісь у попередніх розрахунках не враховуються через їхню малість і невизначеності [6].

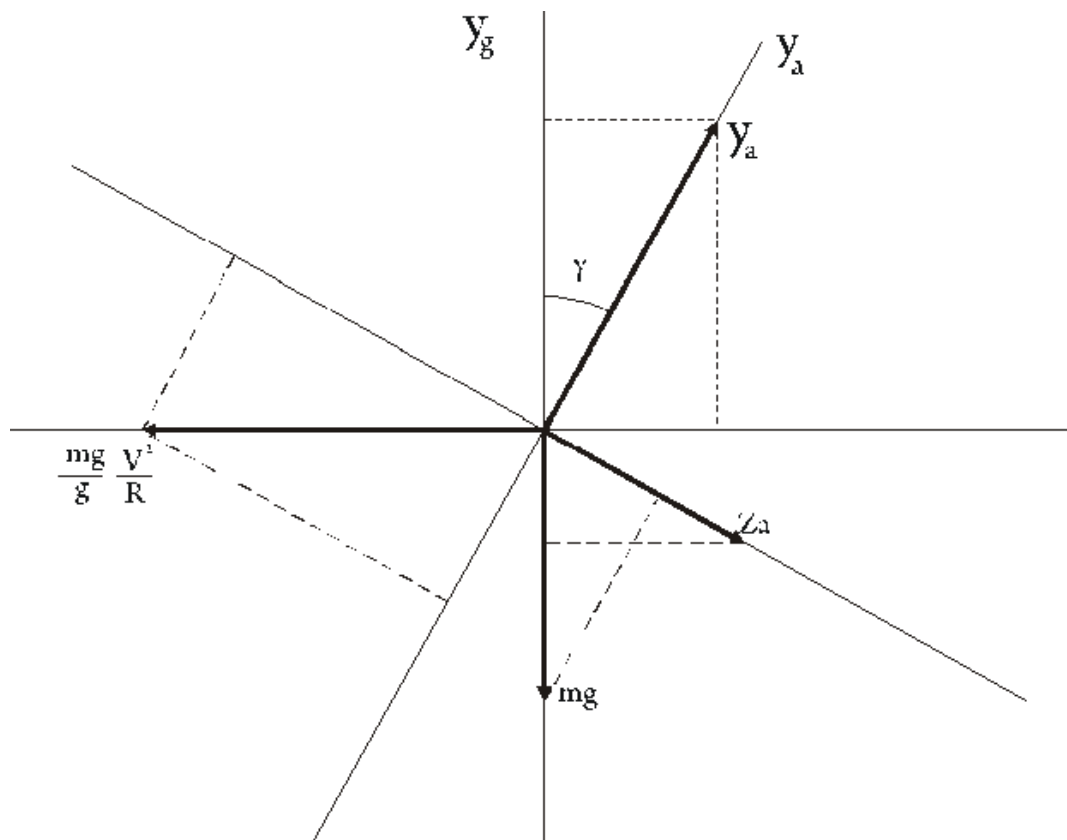


Рис. 1. Розподіл сил при виконанні розвороту

Радіус розвороту БПЛА визначається з умови рівноваги сил, що діють на літальний апарат по осях OY_g і OZ_g нормальної системи координат (рис. 1)

$$n_{ya} \cos \gamma - n_{za} \sin \gamma = 1; \quad (1)$$

$$\frac{V^2}{R_g} = n_{ya} \sin \gamma - n_{za} \cos \gamma. \quad (2)$$

Вирішуючи рівняння (1), (2) відносно R , отримаємо:

$$R = \frac{V^2}{g(n_{ya} \sin \gamma + n_{za} \cos \gamma)}.$$

Для плоского розвороту, за $\gamma = 0$

$$R = \frac{V^2}{gn_{za}}$$

У цих формулах V – швидкість польоту, R – радіус розвороту, γ – кут крену.

Отже, задаючи швидкість польоту та маючи значення допустимого бічного перевантаження, зможемо отримати значення розвороту БПЛА.

Вибір мінімальної траєкторії польоту

Коли маємо усі вхідні дані зможемо будувати траєкторію. За основу візьмемо траєкторію Дубінса [7]. Ця траєкторія являє собою плоскі криві обмеженою кривизни. Параметризуя криві довжиною дуги, можна поставити це завдання геометрично. Зафіксуємо дві точки на площині і два одиничних вектора, прикладених відповідно в цих точках. Потрібно знайти криву на площині, що виходить з першої точки з першим вектором швидкості і входить у другу точку з другим вектором швидкості, що має кривизну, обмежену зверху заданою константою, і найкоротшу серед всіх таких кривих (рис. 2).

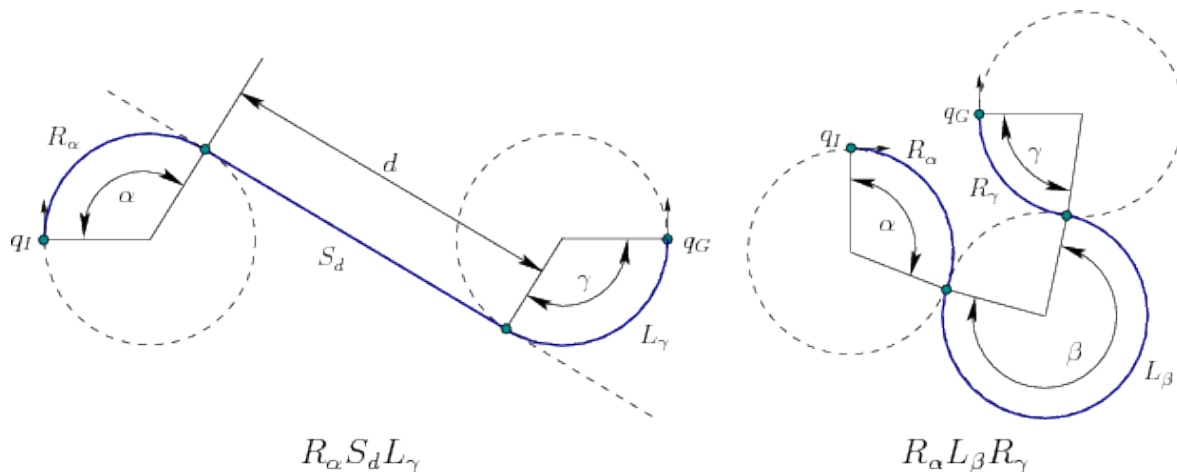


Рис. 2. Варіанти траєкторії Дубінса

Загальна траєкторія польоту L складається із $N-1$ траєкторій між двома точками L . Алгоритм вибору траєкторії за мінімальною довжиною між двома точками наступний:

- будуються кола, радіус яких, дорівнює мінімальному радіусу розвороту БПЛА. Ці кола повинні торкатись векторів швидкості початкової та кінцевої точки;
- будуються всілякі дотичні до цих кіл та визначаються прямі, які є дотичним до кіл обох точок;
- обирається найбільш коротка траєкторія, яка містить сегмент кола, відрізок прямої лінії та сегмент другого кола.

Результат роботи алгоритму представлений на рис. 3.

Однією із частин алгоритму є порівняння радіусу розвороту та радіусу розпилення трихограми. Так, наприклад, може виникнути наступні ситуації. R – радіус дії трихограми, D – діаметр розвороту, r – радіус розвороту ($D/2$).

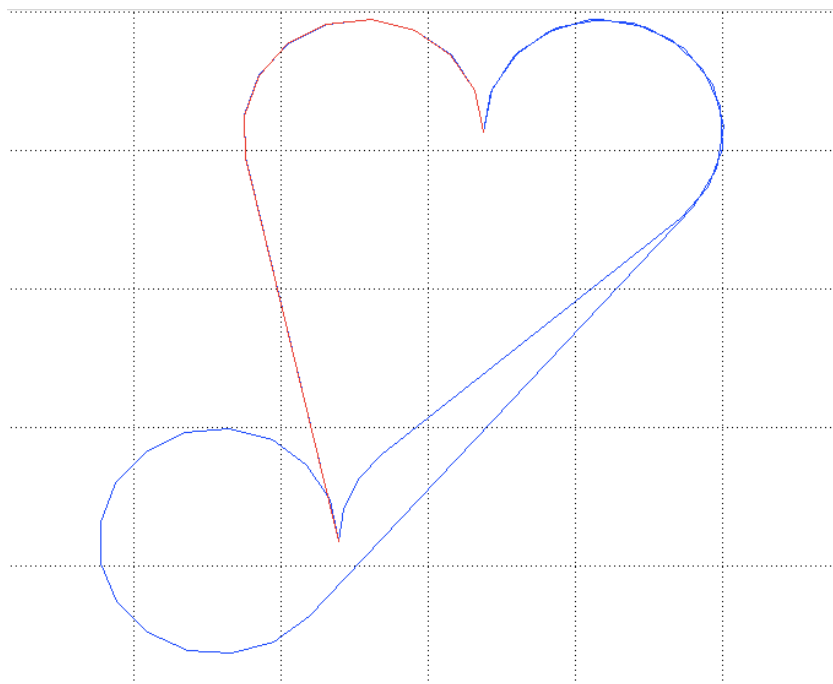


Рис. 3. Реалізація алгоритму

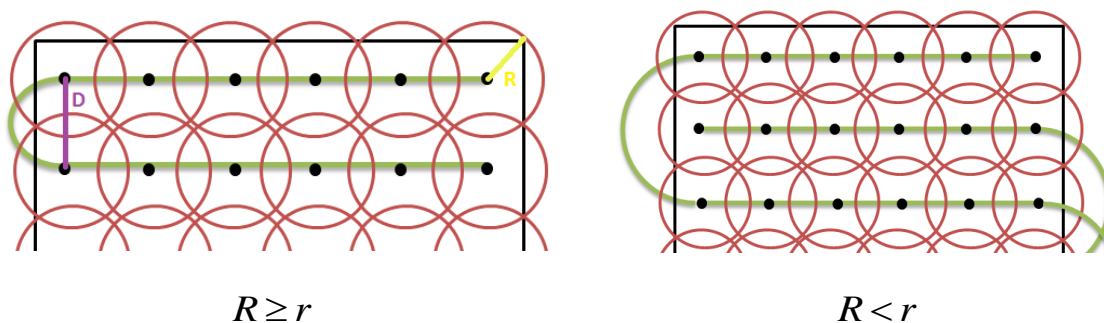


Рис. 4. Варіанти траєкторії

Синтез траєкторії полягає у порівнянні усіх можливих комбінації послідовності точок та виборі тієї послідовності, яка дає найменшу довжину траєкторії.

$$L = \sum_{i=1}^{N-1} l_i \rightarrow \min.$$

Висновок

Запропоновано метод синтезу траєкторії польоту БПЛА для розпилення трихограми. Цей метод передбачає урахуванням мінімального радіусу розвороту БПЛА та вибір мінімальної траєкторії польоту для розпилення трихограми на певному полі. Тому виконується вимога до ефективності цього розпилення, а саме площа розселення трихограми має бути близькою до площі оброблюваного поля, а площа перекриття між двома зонами висадки повинна бути мінімальною.

Запропонований метод можна використовувати не тільки у сільському господарстві, а також для вирішення окремих задач по оптимізації траєкторії під час польоту за заданими точками.

Список використаної літератури

1. *Myronenko Valentyn, Maranda Sergiy.* «Перспективи використання безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві України», National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, 2011.
2. URL:<http://aggeek.net/ru/technology/id/trihogramma-biologicheskoe-sredstvo-zaschity-rastenij-224/> (дата звернення: 17.11.2017).
3. *Белоцерковский Т. В.* Система управления БПЛА для полета на малых высотах, URL:http://faks.kpi.ua/library/Conferences/Conference-8/Section2/paper_01.pdf (дата звернення: 27.12.2017).
4. URL: <http://agrilab.com.ua/?p=7696> (дата звернення: 27.12.2017).
5. *Ардентов А. А., Бесчастный И. Ю.*, Алгоритмы вычисления положения и ориентации БПЛА» - Программные системы: теория и приложения, 2012.
6. *Гулевич С. П., Александровский Б. В., Веселов Ю. Г.* Обоснование основных требований к характеристикам движения беспилотных летательных аппаратов двойного назначения журнал «Проблемы безопасности полетов», 2008.
7. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dubins_path (дата звернення: 27.12.2017).