

Створення Алгоритму Взаємного Позиціювання Сільськогосподарських Дронів в Складі Рою

Вячеслав Корольов

Відділ методів комбінаторної оптимізації та інтелектуальних інформаційних технологій
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
korolev.academ@gmail.com

Максим Огурцов

Відділ методів комбінаторної оптимізації та інтелектуальних інформаційних технологій
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
maksymogurtsov@gmail.com

Creation of the Algorithm for Agricultural Drones Mutual Positioning in a Swarm

Vyacheslav Korolyov

dept. of combinatorial optimization methods and intelligent information technology
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
korolev.academ@gmail.com

Maksym Ogurtsov

dept. of combinatorial optimization methods and intelligent information technology
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
maksymogurtsov@gmail.com

Анотація—З кожним роком зростають обсяги застосування безпілотних літальних апаратів та розширюються сфери такого застосування. При цьому поступово акцент зміщується від застосування окремих безпілотних літальних апаратів до використання роїв безпілотних літальних апаратів, оскільки для багатьох задач (наприклад, обстеження сільськогосподарських ділянок, зрошення і т.д.) це є ефективнішим, ніж застосування окремих безпілотних літальних апаратів. Метою даної роботи є створення алгоритму взаємного позиціювання сільськогосподарських дронів в складі рою впродовж виконання ним поставлених задач. При цьому слід вважати, що роєм керує один оператор незважаючи на кількість елементів рою. Виконано постановку відповідної задачі. Особливо розглянутий спрощений варіант для виродженого випадку двох дронів. Розроблена практична реалізація створеного алгоритму під час проведення експериментів показала свою працездатність, дозволяючи визначити взаємне позиціювання елементів рою, що містить від трьох до двадцяти елементів.

Abstract—Every year, the scope of unmanned aerial vehicles use is growing, and the amount of such applications is expanding. At the same time, the emphasis is gradually shifting from the use of individual unmanned aerial vehicles to the use of their swarms, since for many tasks (for example, the agricultural survey, irrigation, etc.). The purpose of this work is to develop an algorithm for building a mutual positioning for a swarm of unmanned aerial vehicles to maintain a stable structure during the swarm movement while performing its tasks. At the same time, it

should be assumed that the swarm is controlled by one operator, regardless of the swarm elements number. Considered simplified option – the simplified algorithm for the degenerate case of two drones. The developed practical implementation of the created algorithm showed its efficiency during practical experiments, allowing to determine the local positioning of elements of a swarm containing from three to twenty elements.

Ключові слова— БПЛА, дрон, рій, роєве керування, локальне позиціювання

Keywords— UAV, drone, swarm, swarm control, local positioning

I. ВСТУП

З кожним роком зростають обсяги застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та розширюються сфери такого застосування. При цьому поступово акцент зміщується від застосування окремих БПЛА до використання роїв БПЛА, оскільки для багатьох задач (наприклад, обстеження сільськогосподарських ділянок, зрошення і т.д.) це є ефективнішим, ніж застосування окремих БПЛА [1]. Підвищення ефективності досягається за рахунок зменшення кількості операторів, замість їх використання в режимі «один оператор – один БПЛА», що в багатьох задачах перевершує можливості та швидкість реакції людини-оператора [2]. Але при цьому існує ряд проблем, зокрема, проблема глушіння чи недоступності GPS для сільськогосподарських дронів, які виконують

завдання обробки сільськогосподарських угідь від шкідників.

II. МЕТА

Метою даної роботи є створення алгоритму взаємного позиціонування сільськогосподарських дронів в складі рою для підтримання сталої структури впродовж виконання ним поставлених задач.

III. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ РОЗРОБОК

Існує велика кількість наукових робіт, присвячених вирішенню поставленої задачі [1-7]. При цьому слід виділити підходи, засновані на використанні парадигми Інтернету речей та засобах штучного інтелекту [3], хоча слід зазначити, що вони є ресурсоємними, вимагають значних обчислювальних потужностей, що сильно обмежує сферу можливого застосування. Цікавим також є застосування паралельних генетичних алгоритмів та інших методів комбінаторної оптимізації [5], хоча слід відмітити, що на думку авторів розв'язання поставленої задачі можливе без застосування подібних методів, простішим шляхом.

Іншим підходом є попереднє планування маршрутів БПЛА під час руху рою [6], але це значно звужує сферу застосування роїв на основі такого підходу.

Найпопулярнішим варіантом є використання підходу оптимізації як рою частинок [6-7] хоча цей метод також є достатньо обчислювально трудомістким. І зазвичай в подібних роботах не розглянутий варіант з розробкою системи локального взаємного позиціонування елементів рою, поданий в даній роботі.

IV. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Розглядатимемо елементи рою як гомогенні, хоча із додаванням додаткових параметрів та обмежень можливе використання гетерогенних БПЛА.

A. Постановка задачі

Змістовно маємо набір дронів, які мають сформувати рій (кількість дронів приймаємо в проміжку від двох до двадцяти, більша кількість зазвичай не застосовується для реальних задач). Кожен дрон оснащений набором датчиків (GPS, компас, акселерометр, висотомір), що дозволятимуть визначення взаємної позиції та побудову й утримання структури рою. Задачею є досягнення потрібної конфігурації взаємного розміщення рою за мінімальний час та подальше утримання цієї конфігурації з мінімальними витратами сумарного льотної ресурсу всіх елементів рою. Алгоритм має функціонувати ітеративно, з частотою повторення не менше ніж раз на кілька секунд, щоб враховувати можливі зміни взаємного положення елементів рою. Конфігурація, яку має сформувати рій, повинна забезпечувати рівні відстані між будь-якими двома елементами рою, тобто три БПЛА утворять рівносторонній трикутник, чотири – квадрат і так далі. Таким чином маємо:

Вхідні дані – дані з датчиків кожного елемента рою:

- координати GPS;

- напрям руху;
- швидкість;
- висота.

Параметри:

- максимальна швидкість руху БПЛА;
- максимально допустима висота польоту БПЛА;
- мінімально допустима висота польоту БПЛА;
- максимальна дальність польоту БПЛА;
- мінімально допустима відстань між БПЛА.

Обмеження:

Мінімізація сумарного додаткового руху усіх БПЛА рою, потрібного для відновлення заданої конфігурації.

Вихідні дані:

GPS координати точок, куди має переміститись кожен БПЛА для відновлення заданої конфігурації рою.

B. Алгоритм позиціонування для випадку двох дронів

- Визначається взаємне розташування та дистанція дронів. Зберігаються параметри локального позиціонування, що відповідають показникам датчиків для такого взаємного розташування.
- Перший за порядковим номером в списку дрон стає головним.
- Головний дрон ретранслює команди керування від оператора відомому (або той отримує їх напряму і повторює). При цьому раз на десять секунд проводиться опитування з метою визначення сили сигналу та відповідної відстані між дронами.
- Якщо відстань змінилась – відбувається корекція методом зміни напряму польоту і повторного заміру.

C. Алгоритм багатовимірного взаємного позиціонування

Маємо до двадцяти об'єктів, відстані між якими відомі. Таким чином треба розробити алгоритм побудови відносної системи координат для цих точок.

Задачу визначення координат об'єктів за відстанями між ними можна звести до відомої задачі скорочення розмірності вхідних даних. Методи багатовимірного масштабування/скорочення вимірів (Multidimensional Scaling – MDS) [8]. Основна ідея MDS полягає в тому, щоб знайти загальний процес у низьковимірному просторі, який мінімізує дисперсію (D) у високимірному просторі та залежну дисперсію (d) у низьковимірному просторі. Математично маючи матрицю несхожості або відстані D , що представляє різницю між точками i та j у просторі, де D_{ij} є, евклідовою відстанню, MDS намагається знайти набір координат x_i та x_j . Це робиться таким чином в низьковимірному просторі, щоб евклідова відстань між точками i та j (позначена d_{ij}) була якомога ближчою до різниці D_{ij} . Метрикою алгоритму MDS є функція напруги S

(цільова функція), яка визначає різницю між відстанями у вихідному просторі та відстанями в нижньому просторі.

Щоб створити відносну систему координат для кількості точок від трьох до двадцяти однієї на основі матриці відстаней та абсолютних координат однієї точки, використано розроблену нами модифікацію алгоритму MDS. При цьому акцент робився на забезпеченні високої продуктивності виконання завдання [9].

Для практичної реалізації поставленої задачі на основі розробленого алгоритму був створений сценарій Python, який використовує бібліотеку scikit-learn. Розглянемо приклад для випадку 10 БПЛА.

Десять об'єктів знаходяться у локальній системі координат плюс один керуючий об'єкт прив'язаний до глобальної системи координат. Алгоритм MDS застосований до матриці відстаней між дронами дозволив знайти відносні координати десяти точок у тривимірному просторі (локальна система координат рою), а потім відкоригував їх для виявлення глобальних (рис. 1).

Таким чином десять об'єктів знаходяться у локальній системі координат без прив'язування до абсолютної географічної системи координат.

Розроблений сценарій застосовує MDS до матриці відстаней, щоб знайти відносні координати точок тривимірному просторі, а потім коригує ці відносні координати, щоб включити відомі абсолютні координати однієї точки.

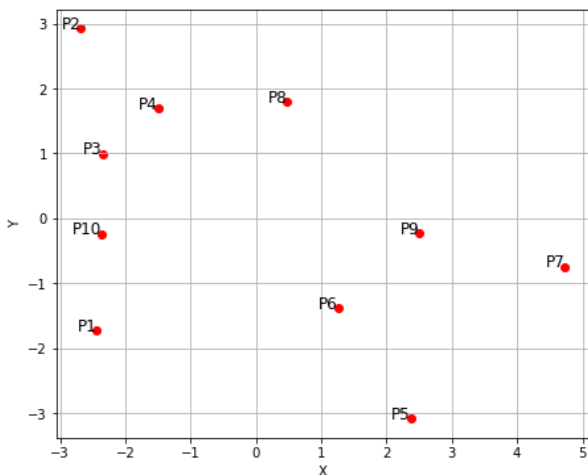


Рис. 1. Результат розв'язання задачі MDS для десятих об'єктів з побудовою системи взаємних координат

Нарешті він малює точки на графіку за допомогою matplotlib, причому кожна точка позначена для ідентифікації. Можна налаштувати масив `distances_matrix` і змінну `absolute_coordinates` для представлення різних відстаней між точками та різними відомими абсолютними координатами відповідно.

Таким чином, модифікований алгоритм MDS застосований до матриці відстаней між дронами дозволяє знайти відносні координати точок у тривимірному просторі (локальна система координат рою) для випадків

від трьох до двадцяти БПЛА. При його застосуванні побудова локальної системи позиціонування елементів рою є менш обчислювально складною, ніж в альтернативних постановках [1-7].

V. ВИСНОВКИ

В рамках виконання роботи поставлено задачу формування та підтримання сталої структури та зграї сільськогосподарських БПЛА шляхом локального взаємного позиціонування. Виконано формалізацію поставленої задачі. Розглянутий розроблений алгоритм для виродженого випадку двох дронів.

Розглянуто можливість застосування алгоритму багатовимірного масштабування з використанням скорочення вимірів. Розроблена практична реалізація створеного алгоритму показала свою працездатність під час проведення практичних експериментів, дозволяючи визначити локальне позиціонування елементів рою, що містить від трьох до двадцяти елементів.

Напрямом подальших досліджень є розробка алгоритму, що дозволяє на основі визначених локальних координат ліквідувати збурення, внесені в структуру рою через внутрішні чи зовнішні чинники, наприклад, втрату одного з елементів рою.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Y. Zhou, R. Bin, W. Wei, "UAV swarm intelligence: Recent advances and future trends," *Ieee Access* 8, pp. 183856-183878. 2020.
- [2] M. Campion, R. Prakash, F. Saleh, "UAV swarm communication and control architectures: a review," *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 7.2, pp. 93-106. 2018.
- [3] X. Wang, G. Chen, H. Gong, J. Jiang, "UAV swarm autonomous control based on Internet of Things and artificial intelligence algorithms," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40(4), pp. 7121-7133. 2021.
- [4] N. R. Frantz, "Swarm intelligence for autonomous UAV control," *Diss. Monterey California. Naval Postgraduate School*. 2005.
- [5] V. Roberge, M. Tarbouchi, G. Labonté, "Comparison of parallel genetic algorithm and particle swarm optimization for real-time UAV path planning," *IEEE Transactions on industrial informatics*, 9(1), pp. 132-141. 2012.
- [6] S. Shao, Y. Peng, C. He, Y. Du, "Efficient path planning for UAV formation via comprehensively improved particle swarm optimization," *ISA transactions*, 97, pp. 415-430. 2020.
- [7] M. D. Phung, Q. P. Ha, "Safety-enhanced UAV path planning with spherical vector-based particle swarm optimization," *Applied Soft Computing*, 107, pp. 107376. 2021.
- [8] R. Chen, B. Yang, W. Zhang, "Distributed and collaborative localization for swarming UAVs," *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), pp. 5062-5074. 2020.
- [9] M. Ogurtsov, V. Korolyov, O. Khodzinskiy, "Improving the Productivity of UAV Operations Based on Granular Computing and Fuzzy Sets," in *IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD)* 19-21 Oct. 2021. 2021, Pp. 33-36. 2021.