

Метод керування та самоорганізована система планування маршрутів БПЛА

Олександр Мельниченко

*Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем
Хмельницький національний університет
Хмельницький, Україна*

Анотація—Розвиток технологій із використанням БПЛА (безпілотних літальних апаратів), потребує стандартизації методів управління як для наземних комплексів, так і для літальних апаратів та платформ. Збільшення кількості літальних апаратів потребує пошуку методів автономної навігації, способів утворення груп та мереж. Тому, питання впровадження нових методів керування є актуальним. Експериментальні дослідження підтвердили можливість реалізації запропонованих рішень. Отримана самоорганізована система має достатній рівень стійкості для забезпечення її функціонування і виконання впроваджених в неї методів управління.

Ключові слова— *Технології самонавчання; Безпілотні літальні апарати; Самоорганізована система; Методи керування; Планування маршрутів.*

I. ВСТУП

Упродовж останніх десятиліть, у всьому світі активно розробляються безпілотні авіаційні комплекси (БПЛА) як системоутворюючі елементи БПЛА. Водночас пріоритет розроблення залишається за інформаційним програмними комплексами, завданням яких є управління та моніторинг БПЛА. Однією зі галузей застосування БПЛА є сільське господарство. Інтелектуальна система моніторингу сільського господарства або просто інтелектуальне сільське господарство є новою технологічною концепцією, у якій дані з декількох сільськогосподарських областей, від дрібного до великого масштабу, отримуються з використанням БПЛА. Зібрані дані аналізуються експертами, щоб робити короткострокові та довгострокові висновки про погодні умови, родючість ґрунтів, поточну якість сільськогосподарських культур, кількість плодів тощо. Проте наявні технології управління погано справляються із завданням обчислення кількості плодів у фермерських господарствах. Для подібних рішень потрібен інтелектуальний програмний комплекс, який здатен будувати маршрути на основі технології самонавчання та об'єднувати декілька БПЛА в групу. Тому, перспективним напрямком для реалізації завдання обчислення плодів є розроблення методів керування і самоорганізованої системи планування маршрутів для декількох БПЛА.

II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Бурхливий розвиток інформаційних технологій упродовж останніх років призвів до появи низки стартапів, що пропонують різноманітні інформаційні системи в галузі «розумного» сільського господарства. Одним із ключових чинників успішності впровадження таких систем є забезпечення максимальної автоматизації завдань системи «розумного» сільського господарства загалом [1-4]. Перспективним підходом до реалізації подібної інформаційної системи є використання штучних нейронних мереж у засобах управління декількома БПЛА [2-5]. Проте, такі підходи є досить різноманітними, важкими в реалізації на малих обчислювальних пристроях та дають можливості автоматично побудувати вигідні з точки зору відстані та ресурсозатратності маршрути [6, 7]. Заразом подібні засоби та технології управління зазвичай не враховують погодні умови робочого середовища та цілісність

отриманих даних. Тому, з огляду на вище вказані проблеми, актуальною науковою задачею є створення автономних систем з архітектурою, у якій буде синтезована самоорганізація та можливість інтегрувати системи сторонніх розробників для покращення результатів. Для розв'язку цієї задачі в даній роботі пропонується новий метод для здійснення обльоту групою БПЛА фруктового саду та обчислення кількості плодів на деревах в автоматичному режимі.

III. МЕТОД КЕРУВАННЯ І САМООРГАНІЗОВАНА СИСТЕМА ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТІВ

На основі проведених експериментів в реальному сільськогосподарському середовищі встановлено, що для обчислення кількості плодів з одного дерева доцільно об'єднати декілька БПЛА одну в групу. Як наслідок, отримано певну кількість дронів зі своїми координатами у просторі. На мапу місцевості, що подається координатною сіткою, було нанесено початкові координати для обльоту одного ряду робочого середовища. В результаті отримано певну матрицю станів, що відображає фізичні пристрої з їхніми координатами та точками виконаних завдань. Таке подання компонентів через стани, в яких можуть перебувати апаратні пристрої під час функціонування, дає змогу визначати стан роботи та проводити моніторинг критичних ситуацій чи збоїв. Такі характеристики дали змогу сформувати множину координат для побудови квазіоптимального маршруту. Аналіз інформації з матриці станів дає можливість інформаційній системі приймати рішення про подальші дії кожного пристрою. Для управління групою БПЛА розроблено централізований програмний модуль. Важливим елементом модуля є його можливість бути відкритим для інтеграції інших підсистем. Об'єкт дослідження у сільському господарстві зумовлений багатьма динамічними зовнішніми чинниками, а саме різними погодними умовами та обмеженнями ресурсів потужності та пропускну здатності БПЛА. Такі чинники несуть негативний вплив на якість розпізнавання плодів, і як наслідок, на правильність їхнього підрахунку. А це в свою чергою зменшує час виконання роботи, зменшує відстань, яку БПЛА може облетіти, зменшує обчислювальні можливості та обмежує комунікації з програмною системою. Водночас для уникнення дублювання плодів та розпізнавання сторонніх об'єктів БПЛА повинні виконувати обліт економічно ефективними маршрутами. Однак засіб планування маршрутів має використовувати ефективні підходи до планування шляху, які будуть спрямовані на мінімізацію загальної довжини польоту.

Отже, для досягнення мети дослідження та з огляду на вище вказані обмеження було розроблено метод планування маршрутів з технологією самонавчання. Даний метод розроблено ґрунтуючись на алгоритмі Q-Learning (QL) підходу штучного інтелекту Reinforcement Learning (RL). Метод планування маршрутів для управління групою БПЛА реалізовано у вигляді централізованого програмного модуля. Модуль, що реалізує метод планування маршрутів, генерує матрицю станів з координатами групи БПЛА, що на основі використання алгоритму QL, дає змогу усім пристроям в тривимірному просторі корегувати власну поведінку через взаємодію з робочим середовищем. Підсистема не використовує будь яких моделей машинного навчання тільки значення матриці станів і працює відповідно до підходу “дія-винагорода”. Всі апаратні пристрої в групі виконують свою роботу допоки не досягнуть “позитивного завершення” роботи самоорганізованої системи. Важливим елементом модуля є його можливість бути відкритим для інтеграції інших підсистем. Приклад результату виконання методу подано в табл. 1.

Таблиця 1

Приклад результату автоматичного корегування маршрутів

Стан	Дія 1	Дія 2	...	Дія n
------	-------	-------	-----	-------

S_1	$Q(S_1, A_1)$	$Q(S_1, A_2)$...	$Q(S_1, A_n)$
S_2	$Q(S_2, A_1)$	$Q(S_2, A_2)$...	$Q(S_2, A_n)$
... (S_n, A_n)
S_n	$Q(S_n, A_1)$	$Q(S_n, A_2)$...	

Процес автоматичного створення та корегування маршруту групи БПЛА відбувається ітеративно. З огляду на ітеративні дії кожного дрону, Q-значення в таблиці постійно оновлюються, допоки не буде виконано критерій вигідності (найменша відстань) автоматично побудованого маршруту. Відповідно, метрикою оцінювання якості планування маршруту групи БПЛА є відстань, яку проходить група за новобудованим маршрутом за одну робочу місію в робочому середовищі. Як наслідок, новобудований маршрут вважатиметься квазіоптимальним, оскільки умови різних робочих середовищ є різними.

IV. РЕЗУЛЬТАТИ

В рамках дослідження проведено оцінювання запропонованого методу; зокрема, здійснено порівняння результатів побудови маршруту запропонованим методом з аналогами у відокремлених зонах фруктових садів.

Таблиця 2

Порівняння відстаней побудованих маршрутів різними методами у відокремлених зонах робочого середовища, м

Стан	Метод 1 [1]	Метод 2 [2]	Запропонований метод
Зона робочого середовища 1	8,95	9,28	9,15
Зона 2	8,43	8,14	7,95
Зона 3	6,73	6,7	6,71
Зона 4	8,4	8,25	8,35
Зона 5	11,6	11,45	11,29
Зона 6	10,76	10,8	10,58
Зона 7	16,1	15,75	15,85
Робоче середовище загалом	70,97	70,37	69,88

Відповідно до табл. 2, для трьох із десяти зон робочого середовища запропонований метод дав змогу побудувати підмаршрути меншої відстані, що виражена у метрах. Відстань побудованого маршруту запропонованим методом у робочому середовищі загалом становила 69,88 м, що на 1,54% та 0,7% менше за відстань, отриманої за Методом 1 [1] та Методом 2 [2], відповідно. З огляду на отримані результати (табл. 2), запропонований метод корегування та самоорганізована система планування маршрутів БПЛА дали змогу зменшити відстань маршруту групи БПЛА, і як наслідок, забезпечили підвищення його якості, що свідчить про досягнення мети роботи.

V. ОБГОВОРЕННЯ

Запропонована самоорганізована система планування маршрутів БПЛА дає змогу будувати нові та корегувати чинні маршрути через ітеративне навчання та взаємодію з робочим середовищем. Реалізація самоорганізованої системи забезпечує розв'язання таких завдань: 1) зменшення часу затримки протягом виконання завдання; 2) зменшення відстані під час виконання переміщення у робочому середовищі; 3) збільшення кількості даних, яку БПЛА може опрацювати під час роботи у режимі реального часу. Водночас застосування алгоритму Q-learning до побудови нових маршрутів дає змогу отримати квазіоптимальні значення відстаней між точками переміщення апаратних пристроїв у робочому середовищі, що є критерієм якості побудованих маршрутів. Квазіоптимальність маршрутів, які буде самоорганізована система, є її поточним обмеженням, усунення якого слугуватиме об'єктом подальших досліджень.

VI. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Напрямами подальших досліджень є удосконалення системи самонавчання та корегування маршрутів групи БПЛА в робочому середовищі для підвищення якості побудованих маршрутів.

VII. ВИСНОВКИ

Запропоновані метод корегування та самоорганізована система планування маршрутів БПЛА загалом дають змогу будувати нові та корегувати чинні маршрути через ітеративне навчання та взаємодію з робочим середовищем. Реалізація самоорганізованої системи забезпечує розв'язання таких завдань: 1) зменшення часу затримки протягом виконання завдання; 2) зменшення відстані під час виконання переміщення у робочому середовищі; 3) збільшення кількості даних, яку БПЛА може опрацювати під час роботи у режимі реального часу. З огляду на отримані результати (табл. 2), запропонований метод корегування та самоорганізована система планування маршрутів БПЛА дали змогу зменшити відстань маршруту групи БПЛА, і як наслідок, забезпечили підвищення його якості, що свідчить про досягнення мети роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. J. Dong, K. Ota and M. Dong, "Real-Time Survivor Detection in UAV Thermal Imagery Based on Deep Learning," *2020 16th International Conference on Mobility, Sensing and Networking (MSN)*, 2020, pp. 352-359, doi: 10.1109/MSN50589.2020.00065.
2. U. F. Ukaegbu, L. K. Tartibu, M. O. Okwu, I. O. Olayode, "Development of a Light-Weight Unmanned Aerial Vehicle for Precision Agriculture," *Sensors*, 2021, vol 21, no. 13: 4417, doi: <https://doi.org/10.3390/s21134417>
3. W. Zhao, W. Yamada, T. Li, M. Digman, T. Runge "Augmenting Crop Detection for Precision Agriculture with Deep Visual Transfer Learning – A Case Study of Bale Detection," *Remote Sensing*, 2021, vol 13(1), doi:23: <https://doi.org/10.3390/rs13010023>
4. Foodtech startups and venture capital. Five Seasons Ventures, dealroom.co, Q2 2022 [Online]. Available: <https://dealroom.co/uploaded/2022/07/Foodtech-Q2-2022-report-1.pdf?x39545>
5. Enterprise league. (2022). 19 top agriculture startups that are revolutionizing the industry [Online]. Available: <https://enterpriseleague.com/blog/agriculture-startups/>

6. J. Kim, S. Kim, C. Ju and H. I. Son, "Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 105100-105115, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932119.
7. S. Sharma, S. Solanki, K. Aswal, E. Thakur and I. Malhotra, "Review On Application Of Drone Systems In Agriculture," *2021 6th International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC)*, 2021, pp. 40-45, doi: 10.1109/ISPCC53510.2021.9609383.