У

УДК 528.013 DOI 10.24412/2413-7383-2024-2-29-35

С. И. Уланов, О. А. Криводубский, А. А. Никитина
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк
283048, г. Донецк, ул. Артема, 118 б

МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПОЛЕТЕ*

S. I. Ulanov, O. A. Krivodubsky, A. A. Nikitina
Federal State Budgetary Scientific Institution «Institute of Artificial Intelligence Problems»
283048, Donetsk, Artema str, 118-b

METHODS OF USING UNMANNED VEHICLES AIRCRAFT IN FLIGHT

С. І. Уланов, О.О. Криводубський, А. А. Нікітіна
Федеральна державна бюджетна наукова установа «Інститут проблем штучного інтелекту»
283048, м. Донецьк, вул. Артема, 118 б

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В КОНТРОЛІ СТАНУ МІСЦЕВОСТІ

В статье проведен анализ основных методов передвижения беспилотных летательных средств с целью выявления наиболее эффективного решения задач в области контроля за передвижением объектов на протяженных участках местности.
Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, летательный аппарат.

The article analyzes the main methods of movement of unmanned aerial vehicles in order to identify the most effective solutions to problems in the field of control over the movement of objects on extended terrain.
Key words: unmanned aerial vehicle, aircraft.

Articulus principales modos motus inanibus vehiculis aereis effingit ut efficacissimas solutiones problematum cognoscat in campo dominii super motum rerum in locis extensis.
Keywords: inanibus aeria vehiculum, aircraft.

* Работа выполнена по Госзаказу. FREN-2023-0004 «Теоретические основы обнаружения и оценки объектов на местности интеллектуальными робототехническими системами в условиях быстроменяющейся обстановки»

Введение

Интеллектуальные системы обнаружения и оценки объектов беспилотными авиационными системами, на сегодняшний день имеет очень большие перспективы во многих отраслях: топография, аэрофотосъемка, видеосъёмка, метеорологического мониторинга, перевозки грузов, инженерно-геодезических изысканий, гражданской авиации, военной техники, научные и исследовательские работы, геолокация, канал передачи данных.

В статье рассматриваются и анализируются возможные методы одиночного и групповых полетов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Цель работы: Исследование существующих методов передвижения в воздушном пространстве беспилотных летательных аппаратов.

Постановка задачи: Выбор наиболее перспективного метода полета БПЛА в решении задач контроля за передвижением объектов на протяженных участках местности.

Преимущества, предоставляемые беспилотными летательными аппаратами, их широкая применимость привели к росту исследований и появлению новых путей их применения в течение последних нескольких лет. Необходимость проведения различных мероприятий позволяет использовать БПЛА, как в одиночном, так и в групповом полете. Исследованию вопросов автоматизации управления полётом строя летательных аппаратов (ЛА) посвящены работы [1-5]. В работах сформулированы общие требования к системам автоматического управления группой самолётов: представлено математическое описание строя, как объекта управления, проведены исследования задачи управления самолётами в группе, по результатам которых сделан вывод о том, что строй, как динамическая система сам по себе, без регуляторов, принципиально неустойчив на всех режимах полёта, рекомендуются технические предложения по построению систем управления строем самолётов. Очередной всплеск интереса к дронам возник после того, как появилась возможность объединять беспилотники в группы для совместного выполнения поставленных задач. По сравнению с системой одиночных БПЛА рой или формирование из нескольких БПЛА [2] имеет очевидные преимущества. (см. таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение основных характеристик системы одиночных беспилотных летательных аппаратов и роя дронов

Особенности системы	Одиночный БПЛА	Рой дронов (группа)
Живучесть	Плохая	Высокая
Масштабируемость	Ограничена	Высокая
Скорость полета	Медленная	Быстрая
Автономность	Низкая	Высокая
Стоимость	Высокая	Низкая
Коммуникационные потребности	Высокие	Низкие
Эффективная отражательная поверхность	Большие	Малые

Жизнеспособность: в системе с одним БПЛА считается отказом, если один БПЛА сбит во время выполнения миссии, но в системе с несколькими БПЛА один вышедший из-под контроля БПЛА не является чем-то серьезным, потому что другие БПЛА будут продолжать работать.

Масштабируемость: использование больших по размеру БПЛА для систем с одним БПЛА только увеличивает охват до определенной точки, а в системе с несколькими БПЛА можно легко увеличить дальность действия.

Скорость полета: миссия завершается быстрее, если используются системы с несколькими БПЛА (при осуществлении поисков, например, системы с несколькими БПЛА могут обрабатывать задачи параллельно, тем самым ускоряя время, необходимое для выполнения миссии).

Автономность: для систем с одним БПЛА типичным режимом работы является то, что пилот на земле имеет прямое управление всеми системами летательного аппарата в режиме реального времени. Для большинства многоцелевых БПЛА бортовая автоматика обеспечивает управляемый полет в соответствии с планами полета и другими директивами.

Стоимость: при использовании нескольких систем БПЛА миссии могут быть завершены с меньшими затратами.

Коммуникационные потребности: системы одиночных БПЛА должны постоянно поддерживать связь с наземными пилотами или инфраструктурой, а система с несколькими БПЛА имеет только один конкретный БПЛА (главный координатор), который связывается с землей и передает сообщение другим БПЛА [6].

Эффективная отражательная поверхность: для военного применения.

На самом деле рой БПЛА – это набор воздушных роботов, которые совместно работают для достижения определенной цели. Обычно архитектура использования БПЛА включает либо ручное управление, то есть с помощью дистанционного управления, либо автономное с помощью программы в бортовом процессоре, установленных на беспилотных летательных аппаратах [7]. Оба способа управления требуют наличия канала связи. Кроме того, высокоэффективная и надежная связь играет важную роль в решении поставленных рою БПЛА задач, включая стратегии координации и сотрудничества, механизмы управления, безопасность, расчет алгоритмов планирования миссии и многое другое.

Метод одиночного полета. В раннем этапе развитии беспилотной авиации ЛА работали в одиночном режиме полета и выполняли каждый свою индивидуальную задачу, планирование пути для навигации от начальной точки до точки назначения [8], что позволяет свести к минимуму энергопотребление, за определенный промежуток времени и не наталкиваться на препятствия. Эффективность применения ЛА ставит задачи комплексного применения ЛА в решении одной задачи с увеличением вероятности ее решения. Применяются несколько независимых ЛА для решения одной задачи, оптимизируя количество ЛА [9]. В СКБ – АМ Московского авиационного института разработан БПЛА одиночка, аппарат – перехватчик других ЛА [10]. Определение очередности движения и разных путей прибытия к цели [11]. Для задач полетов беспилотных летательных аппаратов в городской среде и замкнутом пространстве, для решения строевой задачи [12], в качестве основного источника информации используются системы технического зрения. При этом для режимов полётов по заданной траектории и избегания столкновений с препятствиями особую важность приобретает точность оценки внешнего ориентирования БПЛА.

Метод строя. Для равномерного распределения БПЛА с заданным радиусом действия и ограниченной территории мониторинга летательные средства организуют для построения и равномерно покрытия территории и поиска максимально и минимально возможных расстояний между ними, так чтобы они находились в зоне видимости друг друга, и вся территория покрывалась бы действием контролирующих датчиков без мертвых зон. Групповое применение БПЛА повышает эффективность применения, особенно если оно выполняется на большой территории. Ограничения эти связаны с тем, что сенсорные системы БПЛА имеют ограниченные зоны действия.

Применение нескольких независимых БПЛА повышает эффективность выполнения задачи, но при этом возникают дополнительные проблемы, связанные с координацией действий при выполнении единого задания. При групповом управлении производится взаимодействие между отдельными БПЛА таким образом, чтобы было полное соответствие их действий, с поставленными перед ними задачами [13], одной из главных является распределение заданий среди членов группы. Задача формирования строя (формации) и безопасной навигации – избежание опасного сближения и столкновения БПЛА между собой и с другими объектами. Задача обеспечения безопасного полета как в строю, так и вне его, когда расстояние между БПЛА составляет порядка нескольких десятков метров. Формирование строя в условиях ветровой нагрузки [14], существенно влияющей на движение БПЛА. На первом этапе решается задача формирования строя венгерским методом, а затем осуществляется планирование и реализация траекторного движения группы. Как отмечается в [15], заметность может быть снижена за счет «уменьшения габаритов летательного аппарата». Относительно группового применения БПЛА, следует говорить об уменьшении суммарной площади, занимаемой БПЛА. Эта задача может быть решена соответствующим перестроением группы для уменьшения ее заметности [16]. Рассматривая групповой полёт гипотетических беспилотных летательных аппаратов. Реализуется стратегия предотвращения их столкновений при формировании строя [17]. Эта стратегия основана на развитии метода искусственного потенциального строя.

Метод роя. Самый перспективный метод – рой дронов по принципу построения пчелиной семьи, стаи птиц, муравьев или косяка рыб. Это совместный общий разум сосредоточен на разуме индивидуально каждого дрона [18], не является заранее запрограммированными и синхронизированными, они представляют собой коллективный организм, разделяющий один распределенный мозг для принятия решений и адаптирующийся друг к другу. В рое нет лидера, и он может адаптироваться к входу или выходу любых дронов из команды. Особый акцент сделан [19] на природном алгоритме метода роя. Существуют и проблемы управления ЛА [20], где предложен обобщенный подход управления для решения нескольких типовых задач, в частности, переход от использования одиночных БПЛА к группам и комплексам ЛА. Выбор той или иной стратегии группового управления определяет и структурную организацию соответствующей системы группового управления БПЛА [21]. Существуют централизованные, иерархические (комбинированные) и децентрализованные системы группового управления (СГУ). Преимуществом централизованных СГУ является простота их организации.

Недостатки: сложность организации взаимодействия группы для достижения конечной цели в условиях заранее неопределённой и динамически изменяющейся среды. Преимущество децентрализованных – высокая надёжность и живучесть. Наиболее целесообразной является иерархическая система, когда необходимо управлять большой группой, решающих одну целевую задачу, которую можно декомпозировать на несколько не связанных (или слабосвязанных) между собой подзадач.

Проблемы группового применения беспилотных летательных аппаратов [22], связанные с организацией согласованного планирования и управления, выполняющих различные задачи наблюдения. Задачи управления [23] группой БПЛА для организации движения строем по заданной траектории, обеспечивающей наиболее эффективное достижение цели полета. Предлагается двухуровневая иерархическая структура координирующего управления группой аппаратов [24].

Вывод

По результатам анализа методов формирования БПЛА для работы в единичных и групповых полетах целесообразно выбрать метод строя для дальнейшей проработки, как оптимальный для построения легкими мультикоптерными БПЛА системы контроля протяженными объектами. Для контроля небольших локальных территорий применим как наиболее доступный и скрытый – метод одиночного полета.

Список литературы

1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.techinsider.ru/weapon/394642 rossiyskie bespilotniki s pulsiruyushchim raketnym dvigatelem/
2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sky – x.pro/blog/vidy – bespilotnikov – malogo – klassa – i – ih – klassifikatsiya
3. Неугодникова,д Л. М. *Методы построения систем автоматического управления полетом беспилотных летательных аппаратов с ограничением траекторий и предельных параметров*. Диссертация. Автореферат по ВАК РФ 05.13.01 / Неугодникова Л. М.
4. Козар, А.Н. *Информационные технологии оптимального применения управляемых артиллерийских снарядов: монография* / А.Н. Козар, В.С. Моисеев. РЦ МКО, 2012. 348 с.
5. Dovgal, V.A. Decision – Making for Placing Unmanned Aerial Vehicles to Implementation of Analyzing Cloud Computing Cooperation Applied to Information Processing / V.A. Dovgal. *2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICEAM).* Sochi, 2020. P. 1–5, DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.911197
6. Довгаль, В.А. Анализ безопасности роя дронов, противостоящего атакам злоумышленников / В.А. Довгаль, Д.В. Довгаль / Дистанционные образовательные технологии: сб. трудов V междунар. науч. – практ. конф. / отв. ред. В.Н. Таран. Симферополь, 2020. С. 372–377.
7. .Galvez R.L *Path Planning for Quadrotor UAV Using Genetic Algorithm* / R.L. Galvez, E.P. Dadios, A.A. Bandala. 7th IEEE International Conference Humanoid, 2014 – 5 с.
8. Моисеев В.С. *Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов*: монография / В.С. Моисеев. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2015. 444 с. (Серия «Современная прикладная математика и информатика»). ISBN 978–5–9905685–4–9. Режим доступа: https://moluch.ru/ archive/184/47140/ (дата обращения: 01.11.2023).
9. Испытания стреляющего беспилотного летательного аппарата. *BMPD Live Journa*l [Электронный ресурс]. 26.03.2019 URL: https://bmpd.livejournal.com/3583656.html (дата обращения: 09.06.2019).
10. Титков И. П. *Решение задачи об оптимальных реализуемых назначениях целевых положений БПЛА и определении очередности движения в задаче формации с обеспечением траекторной безопасности* / И. П. Титков, А. А. Карпунин. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.016
11. Князь, В. В. Анализ точности определения собственного положения беспилотным летательным аппаратом с помощью системы захвата движения / В. В. Князь. *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2016. Т. 60, № 2. С. 48 -55: 7 рис., 2 табл. Библиогр.: с. 54-55 (8 назв.).
12. Дьяченко, А. А. *Задача формирования строя в группе БПЛА* / А. А. Дьяченко
13. Текст научной статьи по специальности «Математика». *Известия Южного федерального университета. Технические науки* 2012. УДК681.51:004.7:621.865
14. Абакумов, Е.А. *Исследование методов формирования строя БПЛА* / Е.А. Абакумов
15. Эммануэль Оволаби. *Лучшие камеры для беспилотных летательных аппаратов* (обновлено в 2020 г)
16. Свищев, Г.П. *Авиация: Энциклопедия* / Г.П. Свищев. М.: Большая Российская Энциклопедия, 1994. 736 с.
17. Михайлов, Н.А. Разработка алгоритма перестроения группы беспилотных летательных аппаратов для уменьшения заметности / Н.А. Михайлов. *Труды МАИ.* Выпуск № 96. Режим доступа: http://trudymai.ru/ УДК 004.02
18. Казанин, Д. К. Защита от взаимных столкновений при формировании строя беспилотных летательных аппаратов / Д. К. Казанин. *Управление большими системами*. Выпуск 69 102
19. Воронов, Е.М. Обеспечение траекторной безопасности в задаче облета статичной круговой зоны статья / Е. М. Воронов, А. А. Карпунин. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://repository.rudn.ru/ru/records/article/record/37625/
20. Водолазский, И. А. Роевой интеллект и его наиболее распространённые методы реализации / И. А. Водолазский, А. С. Егоров, А. В. Краснов. *Молодой ученый*. 2017. № 4. С. 147 – 53

21. Мустаев, А.Ф. Стратегия управления роем беспилотных летательных аппаратов / А.Ф. Мустаев. *Вестник науки* №3 (12) том 5. С. 96-99. 2019 г. ISSN 2712 – 8849. Электронный ресурс: https://www.вестник – науки.рф/article/1100 (дата обращения: 08.02.2024 г.)
22. Ким, Н.В. Групповое применение беспилотного летательного аппарата в задачах наблюдения / Н.В. Ким, И.Г. Крылов. *Электронный журнал «Труды МАИ»*. Выпуск № 62 [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.mai.ru/science/trudy/ УДК 629.7.05[47].
23. Ефанов, В.Н. Управление полетом БПЛА в строю на основе координации взаимодействия группы летательных аппаратов / В.Н. Ефанов, С.В. Мизин, В.В.Неретина. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университет*а. 2014

References

1. https://www.techinsider.ru/weapon/394642 rossiyskie bespilotniki s pulsiruyushchim raketnym dvigatelem/
2. https://sky – x.pro/blog/vidy – bespilotnikov – malogo – klassa – i – ih – klassifikatsiya
3. L. M. Neugodnikova Methods of constructing automatic flight control systems for unmanned aerial vehicles with limited trajectories and limiting parameters. Dissertation. Abstract on the Higher Attestation Commission of the Russian Federation 05.13.01.
4. A.N. Kozar, V.S. Moiseev. Information technologies for the optimal use of guided artillery shells: a monograph. – RC MKO, 2012 – 348 p.
5. V.A. Dovgal Decision – Making for Placing Unmanned Aerial Vehicles to Implementation of Analyzing Cloud Computing Cooperation Applied to Information Processing: 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICEAM). Sochi, 2020. P. 1-5, DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.911197
6. V.A.Dovgal, D.V.Dovgal. Analysis of the security of a swarm of drones resisting attacks by intruders // Distance educational technologies: proceedings of the V International Scientific and Practical Conference / ed. by V.N. Taran. Simferopol, 2020. pp. 372-377.
7. R.L.Galvez, E.P.Dadios, A.A.Bandala Path Planning for Quadrotor UAV Using Genetic Algorithm // 7th IEEE International Conference Humanoid, 2014 – 5 p.
8. V.S. Moiseev Fundamentals of the theory of effective use of unmanned aerial vehicles: monograph. – Kazan: Editorial and publishing center "School", 2015. 444 p. (Series "Modern Applied Mathematics and Computer Science"). ISBN 978-5-9905685-4-9 https://moluch.ru/archive/184/47140 / (date of access: 11/01/2023).
9. Tests of a shooting unmanned aerial vehicle // BMPD Live Journal [Electronic resource] – 03/26/2019 – URL: https://bmpd.livejournal.com/3583656.html (date of reference: 06/9/2019).
10. I.P.Titkov, A.A. Karpunin Solving the problem of optimal realizable assignments of UAV target positions and determining the sequence of movement in the formation problem with ensuring trajectory safety Bauman Moscow State Technical University, DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.016
11. V. V. Knyaz. Analysis of the accuracy of determining its own position by an unmanned aerial vehicle using a motion capture system Izvestiya Vuzov. Geodesy and aerial photography. - 2016. – Vol. 60, No. 2. – pp. 48-55: 7 fig., 2 tables. – Bibliogr.: pp. 54-55 (8 titles). – ISSN 0536 – 101X.
12. A. A. Dyachenko The task of forming a system in a group of UAVs
13. The text of a scientific article on the specialty "Mathematics" Proceedings of the Southern Federal University. Technical Sciences 2012. UDK681.51:004.7:621.865
14. E.A. Abakumov Research of methods of formation of the UAV system
15. Emmanuel Ovolabi The best cameras for unmanned aerial vehicles (updated in 2020)
16. G.P. Svishchev Aviation: Encyclopedia. – M.: Bolshaya Rossiyskaya Encyclopedia, 1994. – 736 p.
18. N.A. Mikhailov Development of an algorithm for rebuilding a group of unmanned aerial vehicles to reduce visibility. The works of MAI. Issue No. 96 http://trudymai.ru / UDC 004.02
19. D. K. Kazanin. Protection from mutual collisions in the formation of the formation of unmanned aerial vehicles Control of large systems. Issue 69 102 UDC 007.52 BBK 32.817
20. E.M. Voronov, A.A. Karpunin Ensuring trajectory safety in the problem of flying around a static circular zone article https://repository.rudn.ru/ru/records/article/record/37625/
21. I. A.Vodolazsky, A. S.Egorov, A.V.Krasnov A.V. Swarm intelligence and its most common methods of implementation. A young scientist. – 2017. No.4. – pp. 147 – 53
22. A.F. Mustaev. Swarm management strategy of unmanned aerial vehicles // Bulletin of Science No.3 (12) volume 5. pp. 96-99. 2019. ISSN 2712 – 8849 // Electronic resource: https://www.вестник – science.RF/article/1100 (date of reference: 02/08/2024)
23. N.V. Kim, I.G. Krylov Group application of an unmanned aerial vehicle in surveillance tasks. The electronic journal "Proceedings of MAI". Issue No. 62 www.mai.ru/science/trudy / UDC 629.7.05[47]. V.N. Efanov, S.V. Mizin, V.V.Neretina. Flight control of a UAV in formation based on the coordination of interaction between a group of aircraft. Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. 2014

RESUME

S. I. Ulanov, O.A. Krivodubsky, A. A. Nikitina
Methods of Using Unmanned Vehicles Aircraft in Flight

This article examines the issue of the main methods of flight modes of aircraft (UAVs, aircraft) in order to identify the most effective solution to problems in the field of monitoring the movement of objects of interest during long-term flights in remote areas.

The effectiveness of three UAV movement methods was evaluated: single flight, swarm method, and formation method. According to a number of comparative characteristics, it is advisable to use the method of building for long-range terrain research and the method of single control in more limited territories.

As a result of the analysis of the flight methods of aircraft, the result of research was obtained that, as a dynamic system without regulators, UAVs have unstable performance in all flight modes. Based on this, technically sound proposals are recommended for the use of control methods for both single UAVs and aircraft construction.

The obtained results create the necessary prerequisites for the development of a whole direction in the control of the necessary area of the territory and the recognition of indicators of certain objects on the ground.

РЕЗЮМЕ

С. И. Уланов, О.А. Криводубский, А. А. Никитина
Методы использования беспилотных летательных аппаратов в полете

В данной статье исследован вопрос основных методов режимов полета летательных средств (БПЛА, ЛА,) с целью выявления наиболее эффективного решения задач в области контроля за передвижением объектов интереса при длительных полетах на удаленных участках местности.

Выполнена оценка эффективности трех методов передвижения БПЛА: одиночный полет, метод роя, метод строя. По ряду сравнительных характеристик целесообразно применять метод строя для исследования местности на дальние расстояния и метод одиночного контроля на более ограниченных территориях.

В следствии проведенного анализа методов полета летательных аппаратов получен результат исследований, что в качестве динамической системы без регуляторов, БПЛА обладают нестабильными показателями при всех режимах полёта. Исходя из этого, рекомендованы технические обоснованные предложения по использованию методов управления как одиночных БПЛА, так и строя самолётов.

Полученные результаты создают необходимые предпосылки для разработки целого направления в контроле необходимого участка территории и распознавания показателей определенных объектов на местности.

Криводубский Олег Александрович – д.т.н., с.н.с., Федеральное госу¬дарственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк. *Область научных интересов*: автоматизированные системы управления, эл. почта oleg.krivodybski.dn@gmail.ru, адрес:, г. Донецк, ул. Артема, д. 118 б, телефон: +7949 54 83 89.

Уланов Сергей Иванович – ведущий инженер отдела, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк. *Область научных интересов:* интеллектуальные робототехнические системы. эл. почта ulanov56@yandex.ru, адрес: 283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 118 б, телефон: +7949 4048702.

Никитина Анжела Анатольевна – ведущий инженер по научно-технической информации, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта». *Область научных интересов:* компьютерные информационные технологии, эл. почта pastuhova.anjela@gmail.com, адрес: 283048, г. Донецк, ул. Артема, д. 118 б, телефон +7949 332 78 09.

Статья поступила в редакцию 11.03.2024.