

УДК 004.046: 303.717

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СОСТАВЕ РОЯ ПО ЗАРАНЕЕ ЗАДАНЫМ МАРШРУТАМ

Гуров Виктор Александрович, магистрант, направление подготовки 27.04.03 Системный анализ и управление, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: vg101522@gmail.com

Научный руководитель: **Трипкош Владимир Алоисович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления и информатики в технических системах, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: va.tripkosh@bk.ru

Аннотация. Данная статья посвящена проблеме алгоритмизации процесса управления роем беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), функционирующим в условиях неопределенности и динамичности окружающей среды. Актуальность исследования обусловлена перспективностью применения роев БПЛА, высокой приоритетностью развития и совершенствования беспилотных авиационных систем в Российской Федерации, а также значительным ростом интереса исследователей к данному научно-техническому направлению за последние годы. Целью исследования является разработка действенного и работоспособного алгоритма перемещения дронов в составе роя по заранее заданным маршрутам. Исследование разработанного алгоритма управления выполнялось в рамках имитационной модели роя БПЛА, реализованной в симуляторе CoppeliaSim. Результаты компьютерного эксперимента подтвердили работоспособность разработанного алгоритма. В ходе дальнейших исследований планируется разработка алгоритмов следования роя БПЛА за лидирующим дроном при перемещении по общему маршруту с преодолением препятствий.

Ключевые слова: алгоритмы управления, рой БПЛА, дроны, имитационное моделирование, компьютерный эксперимент.

Для цитирования: Гуров В. А. Разработка и исследование алгоритма перемещения беспилотных летательных аппаратов в составе роя по заранее заданным маршрутам // Шаг в науку. – 2024. – № 4. – С. 41–46.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN ALGORITHM FOR MOVING UNMANNED AERIAL VEHICLES AS PART OF A SWARM ALONG PREDETERMINED ROUTES

Gurov Viktor Alexandrovich, postgraduate student, training program 27.04.03 System Analysis and Control, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: vg101522@gmail.com

Research advisor: **Tripkosh Vladimir Aloisovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Control and Informatics in Technical Systems, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: va.tripkosh@bk.ru

Abstract. This article is devoted to the problem of algorithmizing the process of controlling a swarm of unmanned aerial vehicles (UAV) operating in conditions of uncertainty and dynamism of the environment. The relevance of the study is due to the promising use of UAV swarms, the high priority of the development and improvement of unmanned aerial systems in the Russian Federation, as well as a significant increase in the interest of researchers in this scientific and technical area in recent years. The goal of the study is to develop an effective and efficient algorithm for moving drones as part of a swarm along predetermined routes. The study of the developed control algorithm was carried out within the framework of a UAV swarm simulation model implemented in the CoppeliaSim simulator. The results of a computer experiment confirmed the performance of the developed algorithm. In the course of further research, it is planned to develop algorithms for a swarm of UAVs to follow the leading drone while moving along a common route and overcoming obstacles.

Key words: control algorithms, UAV swarm, drones, simulation modeling, computer experiment.

Cite as: Gurov, V. A. (2024) [Development and research of an algorithm for moving unmanned aerial vehicles as part of a swarm along predetermined routes]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 41–46.

Благодаря быстрому технологическому развитию коммуникационных и сетевых технологий, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали использоваться практически во всех сферах жизни общества, от военных до гражданских [5]. Беспилотные летательные аппараты используются для разведки заданной территории, подавления средств связи противника, контроля объектов инфраструктуры, доставки грузов, проведения поисково-спасательных операций, распыления удобрений и множества других задач [1]. Для повышения эффективности применения беспилотных летательных аппаратов их все чаще объединяют в группы, называемые роями или стаями [2].

Одной из ключевых проблем практического применения роев БПЛА является реализация алгоритмов, обеспечивающих эффективное управление дронами в составе роя в условиях неопределенности и динамичности окружающей среды.

Совместное выполнение группой БПЛА общей задачи требует соблюдения определенных дистанций между летательными аппаратами и упорядочивания их построения [4]. В работе [6] автор отмечает, что «в постоянно изменяющемся окружении помимо неподвижных препятствий присутствуют другие дроны из роя, столкновения с которыми необходимо избежать» [6, с. 75].

Актуальность исследования подтверждается перспективностью использования роев БПЛА при решении различных задач, значительным ростом интереса исследователей к научно-техническому направлению беспилотной авиации за последние годы, а также высокой приоритетностью развития и совершенствования беспилотных авиационных систем в качестве средства обеспечения внутренних потребностей экономики, технологического суверенитета и национальной безопасности Российской Федерации.

В. А. Довгаль рассматривает рой БПЛА как сетевую систему управления (NCS) и дает следующее определение: «NCS – это вычислительная система, управление в которой реализуется в замкнутом контуре через сеть связи» [3, с. 64].

Автор отмечает, что «стая дронов в большинстве случаев ориентирована на выполнение некоторой поставленной миссии, которая может отличаться масштабом и сложностью, требуя развертывания сетей с различными стратегиями – начиная от невзаимодействующего применения (один или группа невзаимодействующих беспилотных летательных аппаратов связаны с наземным центром управления) и заканчи-

вая многокластерным взаимодействующим применением нескольких стай, использующихся для более масштабных миссий и представляющих собой крайне сложную систему, передающую данные через наземную или спутниковую платформу» [3, с. 64].

Сетевые системы управления роем БПЛА могут быть реализованы как с единым центром управления (централизованная архитектура), так и на основе децентрализованного управления полетом.

В соответствии со стратегией, предполагающей централизованное управление роем невзаимодействующих беспилотных летательных аппаратов, разработан алгоритм перемещения дронов в составе роя по заранее заданным маршрутам (рисунок 1).

Разработанный алгоритм включает в себя следующие этапы:

- инициализация (определение) входных данных. На этом этапе определяются координаты опорных точек полетного маршрута, а также скорость БПЛА и время, за которое он должен пройти весь путь;
- линейная или квадратичная интерполяция. Интерполяция представляет собой метод нахождения неизвестных промежуточных значений функции по имеющемуся дискретному набору её известных значений. Линейная интерполяция применяется при перемещении БПЛА по прямой линии. Квадратичная интерполяция применяется при перемещении БПЛА по замкнутой кривой;
- перемещение БПЛА в составе роя по заданным маршрутам на основе результатов интерполяции. Если дроны успешно перемещаются по маршрутам, то перемещение продолжается до тех пор, пока оператор наземного центра управления (НЦУ) не остановит процесс вручную. Если дроны отклоняются от заданных маршрутов, то необходимо повторить инициализацию входных данных.

Далее рассмотрим особенности линейной и квадратичной интерполяции с использованием кривой Безье.

На рисунке 2 красная линия, которую описывает точка В при перемещении от P_0 к P_1 , называется кривой Безье первого порядка. Процесс вычисления координат точки В по известным координатам опорных точек P_0 и P_1 называется линейной интерполяцией. Переменная t находится в пределах от 0 до 1 и показывает процент длины отрезка, который уже прошла точка В.

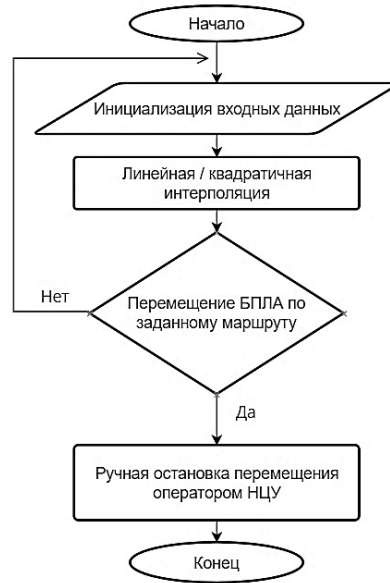


Рисунок 1. Алгоритм перемещения БПЛА в составе роя по заранее заданным маршрутам
Источник: разработано автором

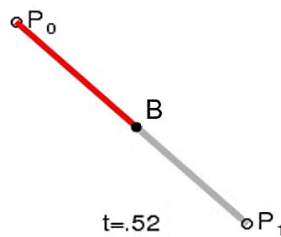


Рисунок 2. Кривая Безье первого порядка (линейная)
Источник: разработано автором

На рисунке 3 точка Q_0 движется по отрезку от P_0 к P_1 , точка Q_1 движется по отрезку от P_1 к P_2 , а точка B движется по отрезку от Q_0 к Q_1 , описывая кривую Бе-

зье второго порядка. Процесс вычисления координат точки B по известным координатам опорных точек P_0 , P_1 и P_2 называется квадратичной интерполяцией.

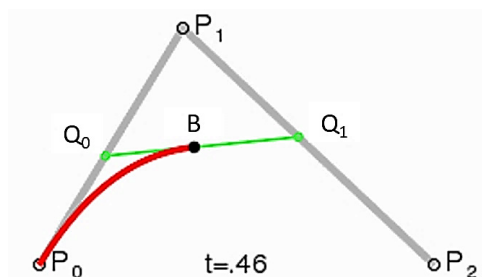


Рисунок 3. Кривая Безье второго порядка (квадратичная)
Источник: разработано автором

Основным методом исследования разработанного алгоритма управления является имитационное моделирование. В качестве программной среды для разработки имитационной модели роя БПЛА выбран симулятор CoppeliaSim.

Симулятор CoppeliaSim является одним из лучших решений для быстрой разработки алгоритмов, моделирования автоматизации производства, удаленного мониторинга, быстрого прототипирования и верификации робототехники [7].

Для оценки работоспособности разработанного алгоритма управления в симуляторе CoppeliaSim разработана имитационная модель роя БПЛА, предполагающая реализацию сценария, в рамках кото-

рого три квадрокоптера в составе роя перемещаются по заранее заданным замкнутым маршрутам (рисунок 4).

Процесс визуализации сценария функционирования роя БПЛА в CoppeliaSim включает ручное построение маршрутов необходимой конфигурации, например, линейных или замкнутых, а также размещение в окне визуализации проекта моделей квадрокоптеров, предустановленных в браузере моделей симулятора. Основой для создания модели квадрокоптера, предустановленной в браузере виртуальной среды CoppeliaSim, предположительно, является квадрокоптер AR.Drone 2.0, выпускаемый французской фирмой Parrot с 2012 года.

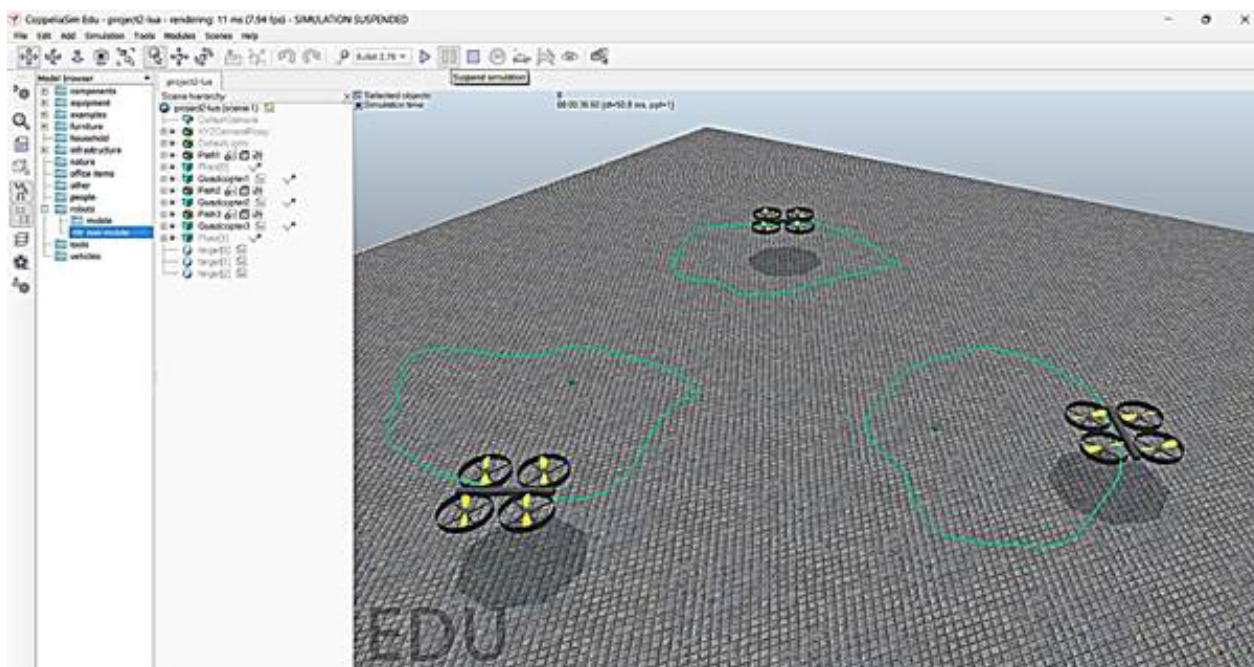


Рисунок 4. Имитационная модель роя БПЛА в симуляторе CoppeliaSim

Источник: разработано автором

На рисунке 4 маршруты, выделенные зеленым цветом, представляют собой замкнутые ломаные линии, состоящие из нескольких отрезков. При запуске режима динамической симуляции все заданные маршруты сглаживаются квадратичной интерполяцией, благодаря чему происходит точное и плавное перемещение квадрокоптеров.

Динамика имитационной модели роя БПЛА, предполагающая управление полетом в соответствии с предопределенными маршрутами, осуществляется посредством разработки и инициализации

управляющих скриптов (наборов команд). В виртуальной среде CoppeliaSim управляющие скрипты могут быть реализованы на предустановленных в симулятор языках программирования Lua и Python, а также методом Remote API на языках Java, MATLAB, Octave, C, C++ и Rust.

На рисунке 5 представлен набор команд (скрипт), разработанный при помощи встроенного в симулятор сценарного языка программирования Lua. Скрипт построен на основе разработанного алгоритма управления.

```
Child script "/Quadcopter1/target"
1  --lua
2
3  function sysCall_init()
4      sim = require('sim')
5      uav=sim.getObject('.')
6      path=sim.getObject('/Path1')
7      pathData=sim.unpackDoubleTable(sim.readCustomDataBlock(path, 'PATH'))
8      local m=Matrix(#pathData//7, 7, pathData)
9      pathPositions=m:slice(1, 1, m:rows(), 3):data()
10     pathQuaternions=m:slice(1, 4, m:rows(), 7):data()
11     pathLengths, totalLength=sim.getPathLengths(pathPositions, 3)
12     velocity=0.05 -- m/s
13     posAlongPath=0
14     previousSimulationTime=0
15 end
16
17 function sysCall_actuation()
18     local t=sim.getSimulationTime()
19     posAlongPath=posAlongPath+velocity*(t-previousSimulationTime)
20     posAlongPath=posAlongPath % totalLength
21     local pos=sim.getPathInterpolatedConfig(pathPositions, pathLengths, posAlongPath)
22     local quat=sim.getPathInterpolatedConfig(pathQuaternions, pathLengths, posAlongPath, nil, {2, 2, 2, 2})
23     sim.setObjectPosition(uav, pos, path)
24     sim.setObjectQuaternion(uav, quat, path)
25     previousSimulationTime=t
26 end
```

Рисунок 5. Набор команд (скрипт), выполняющий перемещение роя БПЛА в соответствии с разработанным алгоритмом управления

Источник: разработано автором

Первый блок (функция) скрипта выполняет загрузку данных о заранее заданном маршруте в навигационную систему БПЛА, также здесь задается скорость беспилотного летательного аппарата и его начальная отправная точка.

Второй блок (функция) скрипта, в зависимости от конфигурации маршрута, выполняет линейную или квадратичную интерполяцию координат БПЛА, благодаря чему выстраивается плавная траектория полета.

Результаты, полученные в процессе компьютерного эксперимента, свидетельствуют о том, что разработанный алгоритм управления, основанный на ме-

тоде интерполяции, оказался работоспособным при реализации сценария функционирования роя БПЛА без взаимодействия. Разработанный алгоритм управления позволяет дронам в составе роя осуществлять плавное и высокоточное перемещение по заранее заданным замкнутым маршрутам.

В ходе дальнейших исследований планируется разработка алгоритмов управления, обеспечивающих следование роя БПЛА за лидирующим дроном при перемещении по общему маршруту с преодолением препятствий.

Литература

1. Гуров В. А., Трипкош В. А. Актуальность разработки и исследования алгоритмов управления роем беспилотных летательных аппаратов // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: Материалы XI Всероссийской конференции, Оренбург, 16 ноября 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 183–186.
2. Довгаль В. А., Довгаль Д. В. Анализ систем коммуникационного взаимодействия дронов, выполняющих поисковую миссию в составе группы // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2020. – № 4(271). – С. 87–94.
3. Довгаль В. А. Интеграция сетей и вычислений для построения системы управления роем дронов как сетевой системы управления // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2022. – № 1(296). – С. 62–76.
4. Иванов Д. Я. Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 3(116). – С. 221–229.

5. Мохаммад Н., Воронова Л. И., Воронов В. И. Разработка имитационной модели использования роя беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 55–61. – <https://doi.org/10.36724/2409-5419-2022-14-3-55-61>.

6. Нгуа Ндонг Авеле Ж. Б. Разработка программно-алгоритмического обеспечения и системы коммуникации взаимодействия для управления роем беспилотных летательных аппаратов, выполняющих миссию по мониторингу в группе // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 66–76. – <https://doi.org/10.32603/2071-8985-2023-16-1-66-76>.

7. Пикалев Я. С. Анализ существующих симуляторов робототехнических систем // Проблемы искусственного интеллекта. – 2017. – № 1(4). – С. 51–65.

Статья поступила в редакцию: 31.05.2024; принята в печать: 27.09.2024.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.