



МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ И ПОСАДКИ НА ДВИЖУЩУЮСЯ ПЛАТФОРМУ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА

А. С. Костин, М. Е. Румянцев

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье были рассмотрены два метода позиционирования беспилотных авиационных систем в пространстве: ArUco-маркеры и GPS. Для беспилотной авиационной системы, позиционирование которой осуществляется с помощью ArUco-маркеров, разработан режим следования за транспортным средством и посадка на подвижное транспортное средство. В условиях лабораторного эксперимента, на базе лаборатории эксплуатации беспилотных авиационных систем Инженерной школы ГУАП, выполнена проверка работоспособности разработанных модулей. Для мониторинга процесса посадки использовался видеопоток в режиме реального времени с бортовой камеры беспилотной авиационной системы и визуальное наблюдение за ней.

Ключевые слова: беспилотная авиационная система, ArUco-маркеры, подвижное транспортное средство, автономный полёт, машинное зрение.

Для цитирования:

Костин А. С., Румянцев М. Е. Модели и методы автономной навигации и посадки на движущуюся платформу беспилотной авиационной системы мультироторного типа // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2 (32), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП, 2022 – с 66–72. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-2-66-72.

MODELS AND METHODS FOR AUTONOMOUS NAVIGATION AND LANDING ON A MOVING PLATFORM OF A MULTIROTOR UNMANNED AERIAL SYSTEM

A. S. Kostin, M. E. Rumyantsev

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article considered two methods of positioning unmanned aircraft systems in space: ArUco-markers and GPS. For an unmanned aircraft system, the positioning of which is carried out using ArUco-markers, a mode of following the vehicle and landing on a mobile vehicle has been developed. In the conditions of a laboratory experiment, on the basis of the laboratory of operation of unmanned aircraft systems of the SUAI Engineering School, the operability of the developed modules was checked. To monitor the landing process, a real-time video stream was used from the onboard camera of the unmanned aircraft system and visual observation of it.

Keywords: unmanned aerial system, ArUco-markers, mobile vehicle, autonomous flight, machine vision.

For citation:

Kostin A. S., Rumyantsev M. E. Models and methods for autonomous navigation and landing on a moving platform of a multirotor unmanned aerial system // Systems analysis and logistics: №2 (32), ISSN 2077-5687. – Russia, SaintPetersburg.: SUAI, 2022 – p. 66–72. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-2-66-72.

Введение

Рынок беспилотных авиационных систем постоянно растет. В 2021 году российский рынок дронов составил около 10 млрд рублей, но может вырасти до 737 млрд рублей к 2025 году. Об этом рассказали на форуме AeroNext 2021 [1]. Многие страны активно проводят эксперименты по внедрению беспилотных авиационных систем в инфраструктуру своих городов. Компания Zipline доставляет медицинские грузы (кровь и лекарства) в отдалённые деревни Африки [2]. В Цюрихе тестировался проект по доставке малогабаритных грузов с помощью системы «грузовик-дрон» [3], а компания Amazon зарегистрировала патент на систему доставки грузов с помощью беспилотников [4].

Применение беспилотных авиационных систем, интегрированных в транспортное средство, позволит решать задачи мониторинга и динамического сбора данных для дальнейшего создания моделей. Для реализации совместной работы системы «транспортное средство – дрон» необходимо реализовать возможность движения беспилотной авиационной



системы за транспортным средством и посадку на него во время движения, однако на текущий момент времени существует задача, ориентированная на точное позиционирование и посадку на движущийся объект. В рамках лаборатории беспилотных авиационных систем ИШ ГУАП был проведен эксперимент с посадкой квадрокоптера на движущуюся платформу.

Способы организации навигации беспилотной авиационной системы

Существуют разные методы навигации беспилотных авиационных систем. Принцип определения местоположения и дальнейшей навигации сводится к тому, что аппаратное и программное обеспечение считывает (с помощью камеры, датчиков, вычислительных мощностей и пр.) и обрабатывает данные, которые позволяют системе определять себя в пространстве [5]. Один из способов ориентирования и позиционирования в пространстве – навигация по GPS.

Такой способ навигации не является предельно точным и используется, преимущественно, на открытом пространстве. С помощью GPS навигации можно создавать автономные полёты беспилотной авиационной системы (рисунок 1).

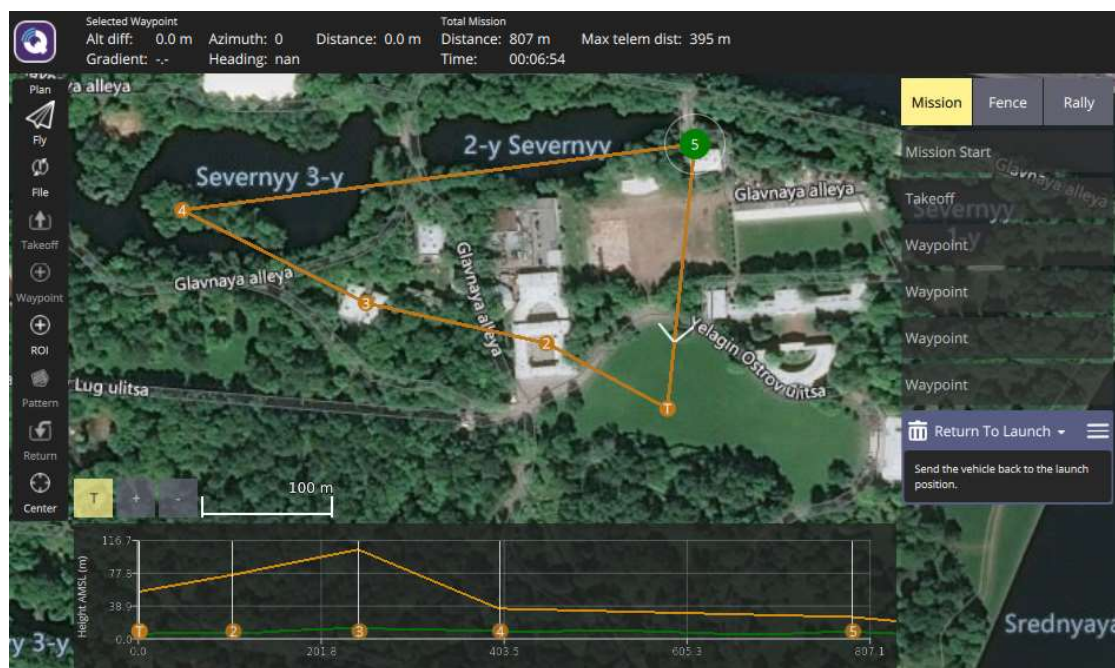


Рис. 1. Пример созданного плана автономного полёта беспилотной авиационной системы в программе QGroundControl

Использование радиотелеметрии при GPS навигации даёт возможность подключаться к беспилотной авиационной системе не используя USB-подключение и подключение по Wi-Fi. К достоинствам приёмника можно отнести большую область передачи данных, в сравнении с Wi-Fi, однако, использовать такой тип навигации затруднительно в помещениях и местах с ограниченным пространством ввиду того, что точность GPS навигации достигает 1-2м, в зависимости от установленных датчиков, а объект может двигаться со значительной скоростью.

При навигации в замкнутом или ограниченном пространстве лучше использовать технологию ArUco-маркеров (рисунок 2). Её применяют для локализации робототехнических систем, в том числе и беспилотных авиационных систем в пространстве, с помощью машинного зрения [6].

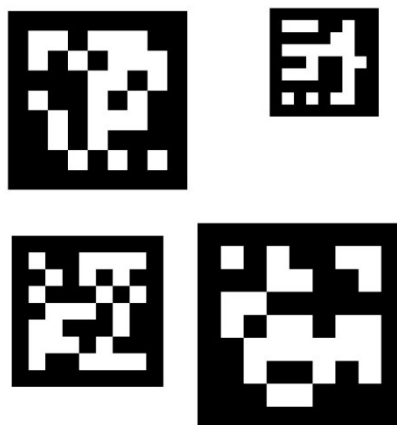


Рис. 2. Пример ArUco – маркеров

Располагать маркеры можно на полу, на потолке или же вертикально на плоскости, при условии возможности считывания этих маркеров камерой. В противном случае камера не обнаружит маркеров, и навигация по ним будет невозможна [7].

При использовании ArUco-маркеров есть специфические особенности:

Печатать маркеры нужно на матовой бумаге, в виду того, что от глянцевой бумаги появятся блики (как от естественного освещения, так и от искусственного), которые затруднят или сделают невозможным считывание маркера. В условиях слабой освещённости тоже возникают проблемы распознавания маркеров, но решить их можно, используя камеру с режимом ночного видения или специальные инфракрасные сенсоры.

Алгоритм программной части модуля слежения за подвижным транспортным средством и модуля посадки на подвижное транспортное средство

Алгоритм работы программы:

– После выполнения полётной миссии, дрон, в режиме реального времени, начинает обрабатывать изображение с камеры, для идентификации заранее известного маркера (маркер находится на подвижной платформе и его номер задан в программе). Скорость дрона при этом – 1.5 м/с. Для поиска маркера выбран маршрут кольцевого облёта. Выбранный тип маршрутизации позволяет охватить большую территорию, в сравнении с другими видами облёта (челночный, линейный, веерный, маятниковый и радиальный). В связи с тем, что камера обрабатывает большой участок территории, нахождение маркера происходит быстрее, чем при любом другом виде маршрутизации,

Для автономных полетов используется функция `navigate`. `Navigate` - прилететь в обозначенную точку по прямой.

Параметры:

- `x, y, z` – координаты (м);
- `yaw` – угол по рысканью (радианы);
- `yaw_rate` – угловая скорость по рысканью (применяется при установке `yaw` в NaN) (рад/с);
- `speed` – скорость полета (м/с);
- `auto_arm` – перевести коптер в OFFBOARD и заармить автоматически (коптер взлетит);
- `frame_id` – система координат, в которой заданы `x, y, z` и `yaw` (по умолчанию: `map`).

Для полета в определенные координаты маркерного поля необходимо использовать фрейм `aruco_map`. `Aruco_map` – координаты относительно карты ArUco-маркеров.



В начале необходимо взлететь, чтобы коптер увидел карту меток и появился фрейм `aruco_map`:

- `navigate(x=0, y=0, z=2, frame_id='body', speed=0.5, auto_arm=True)` # взлет на 2 метра;
- `rospy.sleep(5)` – ожидание выполнения команды в секундах;
- `auto_arm` – перевести коптер в OFFBOARD и заармить автоматически (коптер взлетит);
- # Полет в координату 2:2 маркерного поля, высота 2 метра выполняется следующей командой: `navigate(x=2, y=2, z=2, speed=1, frame_id='aruco_map')`

В случае, если заданный маркер посадки найден, дрон, с той же скоростью 1.5 м/с, начинает движение к центру маркера, плавно снижаясь на 8 см с частотой 10 раз в секунду. Когда, с помощью итеративного снижения высоты, расстояние между меткой и дроном не больше 20 см, моторы дрона отключаются. Измерения высоты проходят в режиме реального времени, с использованием дальномера, размещенного на дроне. Высота от 20 см и ниже является безопасной для полного отключения моторов. Ни дрон, ни посадочная платформа не могут получить повреждений.

Фрагмент программного кода поиска маркера на движущейся платформе:

```
def sub_callback(data): # объявляем функцию поиска маркера, передаем в нее значения
    # всех обнаруженных маркеров
    global search
    markers = data.markers # получаем id всех обнаруженных маркеров
    for marker in markers: # обрабатываем все полученные маркеры в цикле, если нужный
        # маркер обнаружен, то переменная search становится истинной, функция завершается и
        # выполняется функция полета и снижения к заданному маркеру
        if marker.id == 46:
            search = True
            break
    else:
        search = False
```

Может произойти ситуация, когда дрон потеряет найденную ранее посадочную метку. Если это случится, дрон поднимется с текущей высоты до 1.2 метра над землей и продолжит совершать облёт, пока не найдёт посадочный маркер.

Фрагмент программного кода:

```
else: # если искомый маркер был утерян
    z = 1.2
    navigate_wait(frame_id='body', z= 0.3) # увеличиваем высоту полета, т.к. дрон мог
    # находится слишком близко к маркерам, установленным на земле, из-за чего их
    # идентификация может быть некорректной
    for i in range (0, len(x1)): # выполняем повторный полет по заданным координатам
        # поиска в цикле
        navigate_wait(x1[i], y1[i])
        if search: # если установленный на платформе маркер был найден, то
            # останавливаем поиск и выполняем полет с снижением к движущейся платформе
            break
    rospy.sleep(0.1)
```




Алгоритм посадки на подвижную платформу включает в себя режим слежения за подвижным объектом. В режиме слежения можно менять высоту полёта и скорость дрона.

Испытания разработанных модулей

В качестве испытаний программы посадки на подвижную платформу и слежением за ней были выполнены множественные тестовые полёты, во время которых менялась скорость подвижной платформы и траектория её перемещения. Зафиксирован видеопоток с квадрокоптера (рисунок 3).

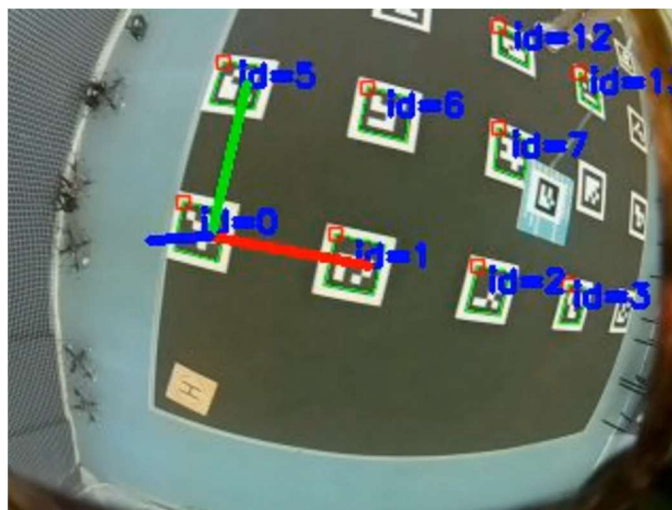


Рис. 3. Начало облёта для поиска подвижной посадочной платформы

На рисунке 3 видно, что с помощью машинного зрения беспилотная авиационная система успешно распознает карту Aruco-маркеров, но подвижная платформа (её можно заметить справа от маркера с id=7) еще не распознана.

Момент, в который машинное зрение распознало маркер подвижной платформы с номером 46 представлен на рисунке 4.

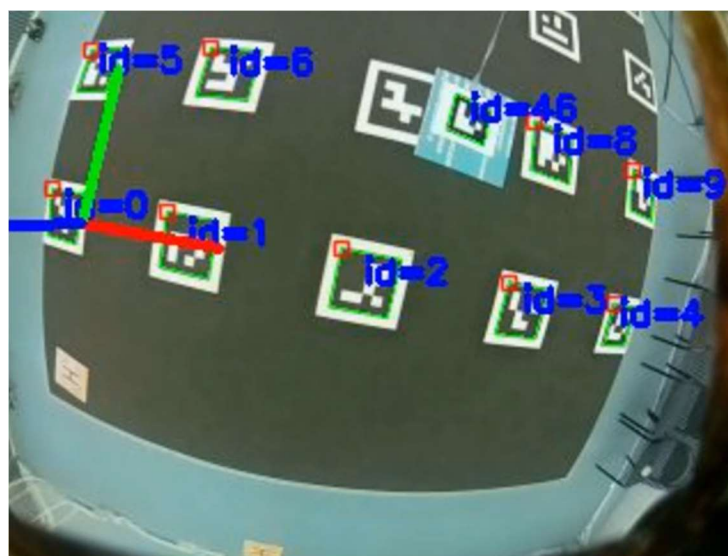


Рис. 4. Беспилотная авиационная система распознала подвижную посадочную платформу



После идентификации подвижной посадочной платформы начинается снижение с постоянным полетом к этой платформе. На рисунке 5 отражён момент перед посадкой квадрокоптера, высота между дроном и меткой приближается к значению в 0.2 м.



Рис. 5. Изображение с камеры беспилотной авиационной системы непосредственно перед посадкой на движущуюся платформу

Заключение

Проведённые испытания показали, что модули посадки на движущуюся платформу и режим слежения за ней отработали в соответствии с поставленными задачами. Все тестовые полёты были закончены успешной посадкой.

Совершенствование разработанных модулей позволит, в будущем, создать безопасную среду для широкого использования беспилотных авиационных систем в пределах города. На базе продемонстрированного решения возможна интеграция транспортных средств и беспилотных авиационных систем для решения различных задач: мониторинга, логистических доставок, инвентаризации на складах больших площадей и прочего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитики: Российский рынок дронов в 2021 году составляет 10 млрд рублей – Российская газета [Электронный ресурс] URL: <https://rg.ru/2021/12/09/analitiki-rossijskij-rynok-dronov-v-2021-godu-sostavliaet-10-mlrd-rublej.html> (дата обращения: 12.05.2022)
2. Zipline – Instant Logistics [Электронный ресурс] URL: <https://flyzipline.com/global-healthcare/> (дата обращения: 12.05.2022)
3. Mercedes-Benz: Vans & Drones [Электронный ресурс] URL: <https://www.mercedes-benz.com/en/vehicles/transporter/vans-drones-in-zurich/> (дата обращения: 12.05.2022)
4. Amazon Receives Patent for Drone Delivery System [Электронный ресурс] URL: <https://learningenglish.voanews.com/a/amazon-receives-patent-for-drone-delivery-system/2776033.html> (дата обращения: 12.05.2022)
5. Карпова Т. Ю., Костин А. С., Майоров Н. Н. Эксплуатация беспилотных авиационных систем: учеб. Пособие / Под ред. Н. Н. Майорова. СПб.: ГУАП, 2021. 167 с.
6. Еленин Д. В., Костин А. С., Майоров Н. Н. Основы автономного управления беспилотными авиационными системами для решения транспортных задач: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2020. 71 с.



7. Богатов Н. В., Костин А. С. Управление и анализ полёта квадрокоптера при задании сложной траектории движения // Системный анализ и логистика. Вып. 4 (26), ISSN 2077-5687. СПб.: ГУАП, 2020. С. 3–12.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Костин Антон Сергеевич –

ассистент кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: anton13258@mail.ru

Румянцев Максим Евгеньевич –

студент кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: Maxim_SUAI@outlook.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kostin Anton Sergeevich –

Assistant of the Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: anton13258@mail.ru

Rumyantsev Maxim Evgenievich –

BA student of the Department of System Analysis and Logistics

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

190000, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya str. 67, lit. A

E-mail: Maxim_SUAI@outlook.com