

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИКОПТЕРАМИ

© 2018 А. Г. Грошев

Воронежский институт высоких технологий

*В статье рассмотрены различные методы управления мультикоптерами. Проведен анализ работ, в которых применяются и исследуются следующие подходы: с использованием ПИД-регуляторов, нейросетевого алгоритма, основанные на теории Ляпунова, на визуальном управлении, алгоритм управления группой квадрокоптеров и метод пассивации.*

*Ключевые слова:* мультикоптер, полётный контроллер, ПИД-регулятор, метод.

Мультикоптер – многороторный летательный аппарат вертолетного типа, который перемещается, управляется и держится в воздухе только за счёт несущих пропеллеров [1].

Часто их просто называют коптерами. Мультикоптеры могут называть и иначе в зависимости от их классификации по количеству моторов и винтов.

Самым распространённым является мультикоптер с четырьмя пропеллерами – квадрокоптер.

В 1922 году Георгий Ботезат американский авиаинженер русского происхождения изобрёл первый действующий квадрокоптер, который был успешно поднят в воздух.

Аппарат имел массу 1600 килограмм, двигатель внутреннего сгорания с мощностью 170 л. с. и мог поднять в воздух до трёх пассажиров. В изобретении Ботезата был недостаток – сложная трансмиссия.

Аппарат имел только один мотор, от которого передавалось вращение на несколько винтов [2].

На становление современного понятия квадрокоптера сыграли такие факторы как развитие в сферах радиоуправляемых моделей самолётов, интегральных микросхем, GPS.

В 1937 году Росс Халл и Клинтон Десото впервые публично продемонстрировали радиоуправляемый полет.

Они разработали и построили планеры с 4-метровым размахом крыльев и совершили более сотни успешных радиоуправляемых полетов [3].

В 1958 году Джек Килби, сотрудник Texas Instruments, представил свою интегральную схему, совершив революционный прорыв в электронной промышленности.

Система глобального позиционирования (Global Positioning System, GPS) – это принадлежащая США система, предоставляющая услуги навигации, позиционирования и синхронизации по времени. Система состоит из трех сегментов: космического, сегмента управления и сегмента потребителей [4].

Массовое применение мультикоптеров началось после 2000 года. Первые устройства с функцией GPS выпускались немецкой фирмой MikroKopter [3].

Управление полетом коптера осуществляется с земли либо оператором, формирующим задание с помощью пульта, либо информационной системой, которая занимается построением необходимой траектории.

Чтобы обеспечить качественное управление летательным аппаратом, его снабжают полётным контроллером, оснащённым набором датчиков [1]:

- гироскопом для стабилизации мультикоптера и измерения угловых ускорений;
- акселерометром, показывающим положение мультикоптера относительно вектора свободного падения;
- магнитометром для определения курсового направления (вперёд, назад, вбок);
- барометром, для определения высоты нахождения мультикоптера;
- ультразвуковым сонаром для управления мультикоптером на малых высотах;

Также в состав контроллера может входить GPS-приемник, предназначенный для отслеживания траектории полета мультикоптера [1].

---

Грошев Александр Геннадьевич – Воронежский институт высоких технологий, аспирант, groshevag95@mail.ru.

Есть множество публикаций, которые посвящены различным методам управления мультикоптером.

Самым распространённым является метод управления, основой которого является пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор [5]. При его использовании преимуществом является упрощенная реализация и экспоненциальная сходимость [6].

Управляющий сигнал ПИД-регулятора образуется из трёх составляющих: пропорциональной (сигнал рассогласования), интегральной (интеграл сигнала рассогласования) и дифференциальной (производная сигнала рассогласования).

При использовании данного регулятора какие-то из составляющих могут и не использоваться [7].

В работе [8] рассматривается метод построения управления, основанный на теории Ляпунова, который позволяет при определённых условиях добиться асимптотической устойчивости летательного аппарата [6].

Существуют методы, основой которых является визуальное управление с помощью видеокамер и т. п. [6].

Например, в работе [9] рассмотрен метод с использованием инерциальных и визуальных сенсоров.

При этом использовалась система в состав которой входило несколько компонентов: однообъективный SLAM на базе метода PTAM, расширенный фильтр Калмана и ПИД-регулятор.

В данном подходе стабилизация квадрокоптера происходит в автономном режиме по заданной траектории с отсутствующим GPS-сигналом и без исходных знаний о местности с применением только, имеющихся на борту, сенсоров. Преимуществом подобных методов является возможность их использования в экстремальных ситуациях [9].

В публикации [10] применяется подход, при котором траектория полёта квадрокоптера записывается заранее в ручном режиме и в дальнейшем осуществляется её повторение в автоматическом режиме [9].

Некоторые исследования затрагивают методы управления с помощью нейросетевого алгоритма [6] [11].

В работе [6] было показано, что для выбранного квадрокоптера размером около 1 м нейросетевой регулятор приемлемо работает при имеющейся погрешности датчиков высоты порядка 4 см.

Учёными из США (университете Миссури) был разработан алгоритм управления группой квадрокоптеров [12]. Их алгоритм состоит из двух двуслойных нейросетевых контроллера.

Один используется для стабилизации группового полета и работает на основе данных с бортовых беспроводных датчиков, а другой используется для синтеза управляющих воздействий ведущего коптера.

Входными параметрами нейросетевого контроллера стабилизации группового полета являются состояния системы. А в итоге на выходе он предоставляет оптимальное управление для движения с минимальным отклонением от траектории ведущего коптера.

Рассмотренные в [12] нейросетевые контроллеры также позволяют при управлении учитывать аэродинамические эффекты и возмущения, вызванные внешним воздействием.

Стоит отметить адаптивные алгоритмы для управления мультикоптером. На основе имеющихся алгоритмов стабилизации можно вводить управление квадрокоптером по заданной траектории в пространстве [13].

При полёте любого мультикоптера его параметры могут меняться, в связи с чем, одним из хороших способов управления при параметрической неопределенности является применение методов, которые не основываются на использовании параметров летательного аппарата.

Преимуществом таких методов является их бо́льшая универсальность в сравнении с другими методами. Это может сыграть свою роль, например, когда параметры двух одинаковых мультикоптеров могут оказаться разными из-за небольшого различия винтов, отличающихся аккумуляторных батарей и т. п.

В исследовании [5] был рассмотрен и предложен алгоритм управления, основанный на методе пассивации, который не использует информацию о параметрах мультикоптера.

Также, предложенный алгоритм учитывает, что углы тангажа и крена влияют друг на друга, при этом во многих других работах это опускается.

Преимуществом предложенного в работе [5] алгоритма является то, что при его использовании не требуется знание параметров мультикоптера для проектирования системы управления.

Однако с использованием этого алгоритма винты мультикоптера раскручиваются сильнее, чем при использовании многих других алгоритмов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Яценков, В. С. Твой первый квадрокоптер: теория и практика / В. С. Яценков – СПб.: БХВ-Петербург, 2016 – 256 с.
2. Михеев, В. Р. Георгий Александрович Ботезат / В. Р. Михеев; Отв. ред. В.П.Борисов. – М.: Наука, 2000. – 160 с.
3. Килби, Т. Дроны с нуля: Пер. с англ. / Т. Килби, Б. Килби. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 192 с.
4. Official, U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics [Электронный ресурс] GPS: The Global Positioning System – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.gps.gov/systems/gps/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 10.12.2018).
5. Белявский, А. О. Синтез адаптивной системы управления квадрокоптером методом пассивации / А. О. Белявский, С. И. Томашевич // Управление подвижными объектами и навигация. – 2016. – № 63. – С. 155-181.
6. Савицкий, А. В. Модель квадрокоптера и нейросетевой алгоритм управления // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. – 2017. – № 77. – 20 с.
7. Денисенко, В. В. ПИД регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 4. – С. 66-74; 2007.
8. Dzul, P. A. and Lozano R. Real-time stabilization and tracking of a four-rotor mini rotorcraft. IEEE Transaction on Control System Technology, 12(4):510 – 516, July 2004.
9. Логачев, В. Г. Метод стабилизации положения и управления квадрокоптером в пространстве с использованием данных инерциальных и визуальных сенсоров / В. Г. Логачев, И. В. Минин // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11. С. 85-91.
10. Krajník, T. et al. AR-drone as a platform for robotic research and education // Research and Education in Robotics-EUROBOT 2011. Springer Berlin Heidelberg, 2011. pp. 172-186.
11. Евгенов, А. А. Нейросетевой регулятор системы управления квадрокоптером // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.
12. Dierks, T., Jagannathan S. Neural Network Control and Wireless Sensor Network-based Localization of Quadrotor UAV Formations // Aerial Vehicles. – 2009. – P. 601-620.
13. Белоконь, С. А. Управление параметрами полёта квадрокоптера при движении по заданной траектории / С. А. Белоконь, Ю. Н. Золотухин, К. Ю. Котов, А. С. Мальцев, А. А. Нестеров, М. А.Соболев, М. Н. Филиппов, А. П. Ян // Автотметрия. – 2013. – С. 32-42.

## ANALYSIS OF THE METHODS OF MULTICOPTER MANAGEMENT

© 2018 A. G. Groshev

Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)

*The paper analyzes and discusses various methods of managing multicopter. An overview of the methods of work in which the following methods are used and investigated is carried out: using PID controllers, the neural network algorithm, the foundations for Lyapunov's theory, for visual control, the control algorithm for a group of quadcopters and passification method.*

*Key words: multicopter, flight controller, PID controller, method.*