

---

УДК 621.391

*А. К. Атланова, П. Д. Чащина*, студенты

*В. В. Титов*, магистрант

*И. А. Кайсина*, аспирант

*А. В. Абилов*, канд. техн. наук, доц., декан факультета

*М. А. Ламри*, аспирант

E-mail: kafsts@istu.ru

Кафедра «Сети связи и телекоммуникационные системы»

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## **Обзор возможной реализации автономного полета малых БПЛА на базе Clever с поддержкой ретрансляции данных**

*В статье предложен программно-аппаратный комплекс на базе малого учебного БПЛА Clever с возможностью применения ретрансляции данных среди нескольких летающих узлов, а также автономного полета в замкнутых пространствах. При совместном использовании ретрансляции данных между всеми летающими узлами и алгоритмов для автономного полета появляется возможность практической реализации автономного полета группы малых БПЛА, что является актуальной задачей промышленного сектора РФ на сегодняшний день.*

**Ключевые слова:** БПЛА, самоорганизующиеся сети, передача данных, автономный полет.

### **Введение**

Концепт роя дронов взят из наблюдений за коллективными животными. Но его нынешняя реализация упускает момент, что стая (или рой) зачастую принимает ситуативные решения, выстроенные на строго локальной информации – визуальном восприятии – наиболее перспективной сенсорной характеристике. Снабжение дронов камерой и лидаром, служащим в качестве пространственного маркера, поможет не только осуществить полностью автономный полет без заранее проложенного оператором маршрута, но и позволит машине «ощущать» друг друга и держаться на расстоянии, на котором им не будут мешать создаваемые воздушные потоки. Опираясь на данные lead drone, группа может ориентироваться в пространстве и подстраиваться под необходимую скорость. Рой дронов можно осуществить благодаря стандартному описанию маршрута – совокупности набора координат и заданной скорости.

Рисование маршрута происходит в программном обеспечении для управления дронами совместно с пилотами и операторами – UgCS. Изначально квадрокоптеры снабжены стандартным GPS-модулем, подключаемым к разъемам «GPS» и «I2C» полетного контроллера. Но для более точного позиционирования рекомендуется использовать GPS RTK (Real Time Kinematic) и сопрягаемый приемник на каждой машине.

Для взаимодействия каждого узла (каждого малого БПЛА) необходимо организовать связь между ними, для этого может использоваться подключение *ad-hoc*, которое ориентировано на децентрализованную беспроводную сеть без постоянной структуры. Программное обеспечение для *ad-hoc*-подключения, а также алгоритмов автономного полета может быть реализовано на базе микрокомпьютера Raspberry Pi 3, который является частью малых учебных БПЛА, например, Clever.

### Обзор малого БПЛА Clever

Clever 4 – это квадрокоптер с открытым кодом. Он оснащен полетным контроллером [3] COEX Pix , который позволяет использовать более пяти режимов полета: Stabilized, Position, Manual, Altitude, Acro и др. Для автономного полета в основном используется режим Offboard, который характеризуется управлением квадрокоптера извне (с помощью микроконтроллера).

Как описано выше, на борту БПЛА Clever присутствует микрокомпьютер Raspberry Pi 3 [7]. Питание микрокомпьютера осуществляется с помощью, непосредственно подключения её к плате распределения питания. Также к плате распределения питания припаяны контакты от регуляторов оборотов двигателя, приемника радиосигнала пульта управления и полетного контроллера. Квадрокоптер питается от аккумулятора на 4200 мАч. Полного заряда аккумулятора хватает на 13–15 минут полета и одновременной реализации ретрансляции (питания микроконтроллера).

Настройка и калибровка квадрокоптера производится в программе QGroundControl в несколько этапов:

- Выбор прошивки, в зависимости от полетного контроллера и целей использования малого БПЛА.
- Выбор формы рамы и типа малого БПЛА.
- Калибровка датчиков: компас, гироскоп, акселерометр, уровень горизонта.
- Настройка пульта управления: рыскание, тангаж, крен. Установка тумблера для экстренного отключения моторов и для переключения режимов полета.

- Настройка питания. Калибровка делителя напряжения. Калибровка регуляторов (ESC).
- Настройка реактивной квадрокоптера на внештатные ситуации.
- Установка PID-коэффициентов.

Первоначальная настройка квадрокоптера определяет стабильность дальнейшей работы.

### **Реализация подключения ad-hoc для возможности дальнейшей ретрансляции данных в самоорганизующейся сети**

Ad-hoc – это вид беспроводных сетей, имеющий децентрализованную структуру [6]. В такой сети не существует заданной топологии, она может изменяться динамически. Каждый узел такой сети равноценен и участвует в маршрутизации, передавая данные другим узлам. В нашем случае в качестве узлов выступают БПЛА, следовательно, можно говорить о сети FANET [5]. Особенностью данной сети является высокая скорость узлов и более частая смена топологии, по сравнению с другими видами ad-hoc-сетей [6]. В случае использования микрокомпьютеров Raspberry Pi 3 связь устанавливается по протоколу Wi-Fi 802.11g с максимальной пропускной способностью 54 Мб/сек. Используется канал шириной 20 МГц в диапазоне 2,4 ГГц. Ретрансляция данных в рассматриваемой ad-hoc-сети может быть реализована при помощи протоколов маршрутизации, таких как OLSR, AODV или B.A.T.M.A.N.Adv [5].

### **Возможности применения машинного обучения в рое малых БПЛА**

Сам алгоритм обработки изображения и принятия решения реализуем на языках Python и R [7]. Для точности полета рекомендуется использовать semantic или instance segmentation [1] (в зависимости от пространства и объектов вокруг роя) – разделение объектов класса по отдельности, опираясь на определение насыщенности пикселей. С помощью технологии оптического потока [2] и ArUCO-кодов микроконтроллер выстраивает карту автономного полета, позволяющую аппарату совершать полет без участия оператора. Для обеспечения более точного и безопасного полета можно также использовать камеру глубины – ее особенность заключается в том, что она записывает видео, в каждом пикселе которого хранится расстояние до объектов. Суть нейронной сети, как уже было сказано, определить и разделить контуры – так называемые маски [1]. С этим справятся многослойные сверточные сети [4], в частности – архитектура Mask R-CNN.

## Заключение

В статье рассмотрена возможная реализация автономного полета малых БПЛА на базе Clever с поддержкой ретрансляции данных. Выделено, что применение ad-hoc-подключения может позволить ретранслировать данные между узлами в сети, а алгоритмы машинного обучения обеспечат возможность автономного полета.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-06076*

## Список литературы

1. *Szeliski, R.* Computer vision: algorithms and applications. London : Springer, 2010. DOI: [10.1007/978-1-84882-935-0](https://doi.org/10.1007/978-1-84882-935-0).
2. *Tao, M. W., Bai, J., Kohil, P.* SimpleFlow: a non-iterative, sublinear optical flow algorithm // Computer Graphics Forum. 2012. Vol. 31. No. 2-1. Pp. 345-353. DOI: [10.1111/j.1467-8659.2012.03013.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2012.03013.x).
3. *Ebeid, E., Skriver, M., Terkildsen, K. H., Jensen, K., Schultz, U. P.* A survey of open-source UAV flight controllers and flight simulators // Microprocessors and Microsystems. 2018. Vol. 61. Pp. 11-20. DOI: [10.1016/j.micpro.2018.05.002](https://doi.org/10.1016/j.micpro.2018.05.002).
4. *Bishop, C. M.* Pattern recognition and machine learning. New York : Springer-Verlag, 2006. 738 p.
5. Экспериментальное исследование эффективности протокола маршрутизации В.А.Т.М.А.Н. в сети с топологией точка-точка для FANET / И. А. Кайсина, В. В. Титов, Д. С. Васильев, Д. С. Мейтис, А. В. Абилов, А. Е. Кайсин // Приборостроение в XXI веке – 2018. Интеграция науки, образования и производства. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. – С. 259–267.
6. Экспериментальное исследование ретрансляции мультиточковой передачи данных по стандарту WiFi 802.11g на частоте 2,4 ГГц в режиме Ad-Hoc / И. А. Кайсина, В. В. Титов, Д. С. Васильев, А. В. Абилов, А. Е. Кайсин // Приборостроение в XXI веке – 2019. Интеграция науки, образования и производства. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2019. – С. 236–244.
7. *Choi H., Geeves M., Alsalam B. and Gonzalez F.* Open source computer-vision based guidance system for UAVs on-board decision making // IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT. 2016. С. 1-5.

*A. K. Atlanova, P. D. Chashchina*, students

*V. V. Titov*, master student

*I. A. Kaisina*, postgraduate student

*A. V. Abilov*, CSc in engineering, associate professor, dean of faculty

*M. A. Lamri*, postgraduate student

E-mail: kafsts@istu.ru

Department of Communication Networks and Telecommunication Systems  
Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

## **An Overview of the Possible Implementation of an Autonomous Flight of Small UAVs Based on Clever with Data Relay Support**

*The article offers a software and hardware complex based on a small training UAV Clever with the possibility of using data retransmission among several flying nodes, as well as autonomous flight in confined spaces. With the joint use of data retransmission between all flying nodes and algorithms for autonomous flight, it becomes possible to implement the autonomous flight of a group of small UAVs, which is an urgent task of the industrial sector of the Russian Federation today.*

**Keywords:** UAV, self-organizing networks, data transmission, autonomous flight.