

## Система обеспечения безопасного перемещения мультикоптера внутри помещений

*А.Ю. Когочев, Л.В. Щеголева*

*Петрозаводский государственный университет*

**Аннотация:** В статье описывается разработанная универсальная система обеспечения безопасного движения мультикоптера, используемого внутри помещений. Система решает задачу уклонения мультикоптера от препятствий, перехватывая управление аппаратом у оператора при попадании аппарата в опасную зону.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, мультикоптер, безопасность, уклонение от препятствий, управление.

### Введение

Задачи безопасности использования технических систем являются первостепенными при использовании их человеком. При этом безопасность рассматривается как с точки зрения безопасности для человека, который может оказаться в зоне действия технической системы, для других объектов, находящихся в этой же зоне, так и для самого технического устройства [1–4].

Области использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) быстро расширяются [5–7], так же как и методы управления ими [8]. БПЛА применяются как на открытом пространстве, так и внутри помещений. При использовании мультикоптеров внутри помещений риски повредить само устройство или окружающие объекты, а особенно причинить вред человеку, становятся гораздо выше. Поэтому разработка системы ухода (уклонения) от препятствий для мультикоптера является очень важной задачей.

В настоящей статье описывается архитектура универсальной системы ухода (уклонения) от препятствий для мультикоптера. Эта система развивает принципы, представленные в работах [9,10].

### Архитектура системы

Рассматриваемая система включает три основных элемента: оператора, управляющего движением мультикоптера посредством пульта, само

---

устройство – мультикоптер и дополнительную универсальную, независимую электронно-программную систему для выполнения задачи обеспечения безопасного движения мультикоптера.

Электронно-программная система обеспечения безопасного движения мультикоптера (ЭПСБДМ) включает следующие устройства: 8 ультразвуковых датчиков расстояния, один инфракрасный датчик расстояния, электронную плату для управления датчиками и мультикоптером, радиоприемник. Основным критерием для выбора электронных устройств ЭПСБДМ стали требования к массогабаритным показателям и показателям энергоемкости управляющей системы [9]. В качестве управляющей платы была выбрана плата Flymaple v1.1 на основе микроконтроллера STM32F103RET6 фирмы ST Microelectronics, ультразвуковые датчики расстояния Ultrasonic Ranger v1.0, Инфракрасный дальномер GP2Y0A21YK и радиоприемник Turnigy XR7000.

Восемь ультразвуковых дальномеров предназначены для обнаружения препятствий в горизонтальной плоскости мультикоптера. Они располагаются по периметру основания мультикоптера под углами  $45^\circ$  относительно друг друга. Такое расположение обеспечивает оптимальное покрытие зоны обнаружения препятствий, а также гарантирует отсутствие наводок от соседних датчиков. Инфракрасный дальномер устанавливается под основанием мультикоптера и измеряет расстояние от мультикоптера до поверхности пола. Инфракрасный дальномер задействован в модуле стабилизации мультикоптера по высоте. Все датчики соединены с управляющей платой. С ней же соединен и радиоприемник, предназначенный для перехвата команд, поступающих от оператора. Управляющая плата соединена с платформой стабилизации БПЛА и заменяет команды оператора своими командами в определенных ситуациях.

---

## Принципы работы ЭПСБДМ

Основной задачей ЭПСБДМ является обнаружение препятствий в зоне полета мультикоптера и перехват управления мультикоптером для уклонения от препятствий, если препятствия находятся в опасной близости к мультикоптеру (рис. 1 (а)). В остальное время управление мультикоптером осуществляется оператором с пульта управления. При перехвате управления системой ЭПСБДМ команды, поступающие от оператора, игнорируются до момента выхода устройства из опасной зоны. Выход из опасной зоны осуществляется на той же высоте, на какой находилось устройство в момент попадания в опасную зону. Если после выхода из опасной зоны от оператора не поступает управляющих команд, то устройство «зависает» на безопасном расстоянии от препятствий до момента получения новых команд от оператора (рис. 1 (б)). Если в течение заданного времени команды на изменение направления движения не поступает, БПЛА осуществляет безопасную посадку и оповещает об этом оператора.

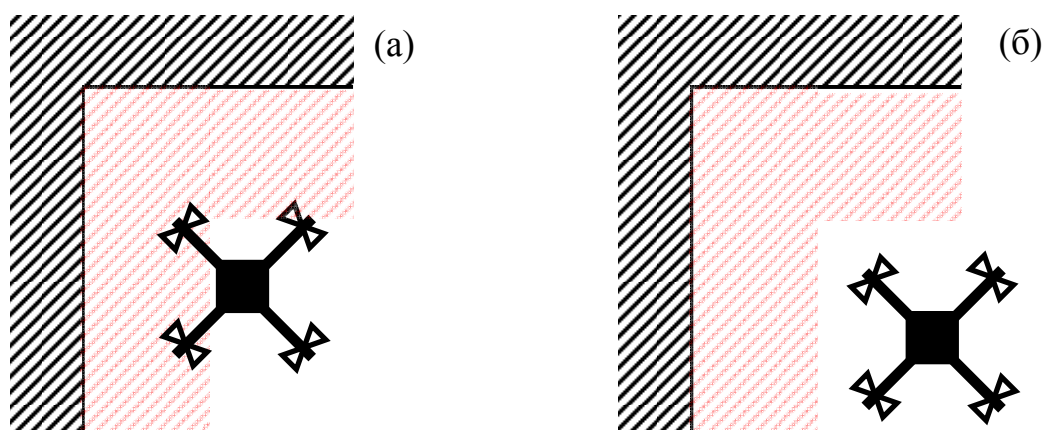


Рис. 1 – Попадание мультикоптера в опасную зону (а), «зависание» мультикоптера в безопасной зоне (б)

Архитектура программной составляющей ЭПСБДМ состоит из двух подсистем: подсистемы технического зрения и подсистемы управления. В свою очередь подсистема технического зрения включает модуль обнаружения препятствий и модуль измерения высоты, а подсистема

управления включает модуль стабилизации мультикоптера по высоте, модуль отхода от препятствия, модуль перехвата управления, и модуль принятия решения.

Общий алгоритм работы ЭПСБДМ следующий. Модуль обнаружения препятствий с использованием системного таймера управляющей платы выполняет измерения расстояний от мультикоптера до возможных препятствий (рис. 2). Измерения выполняются через каждые 40 мс. Это связано с принципом работы ультразвуковых датчиков. В соответствии со скоростью распространения звука в воздухе одно измерение с помощью ультразвукового дальномера происходит в течение 150–25000 мкс в зависимости от расстояния. При этом для датчиков с неперекрывающимися областями поиска, замер расстояний может осуществляться одновременно. А для близкорасположенных датчиков необходимо сделать паузу, равную времени выполненного замера.

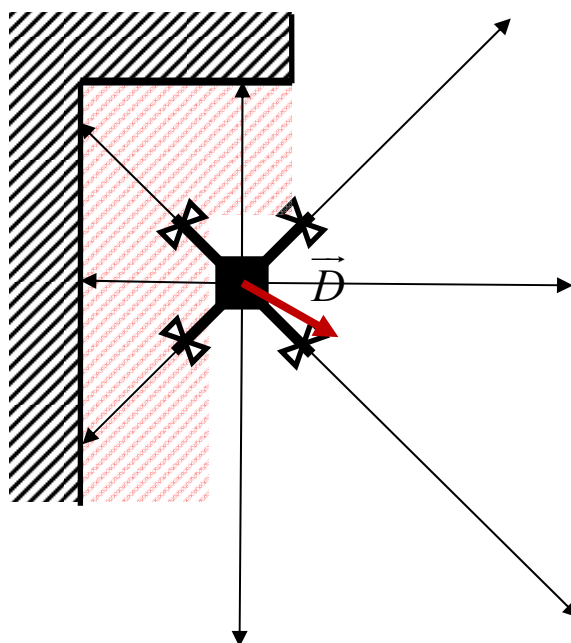


Рис. 2 – Определение вектора перемещения устройства  $\vec{D}$  для выхода из опасной зоны

Модуль измерения высоты выполняет несколько измерений с помощью инфракрасного датчика, обрабатывает их с использованием медианного фильтра и выдает значение расстояния от устройства до поверхности пола.

Модуль стабилизации по высоте получает от модуля измерения высоты расстояние от устройства до поверхности пола, сравнивает его с заданным, рассчитывает ошибку и формирует с помощью ПИД регулятора величину газа для мультикоптера.

Модуль отхода от препятствий получает от модуля обнаружения препятствий восемь измеренных расстояний в восьми направлениях, начиная с направления вперед (В), и далее по часовой стрелке вперед-вправо (ВП), вправо (П), назад-вправо (НП), назад (Н), назад-влево (НЛ), влево (Л), вперед-влево (ВЛ) (рис. 3).

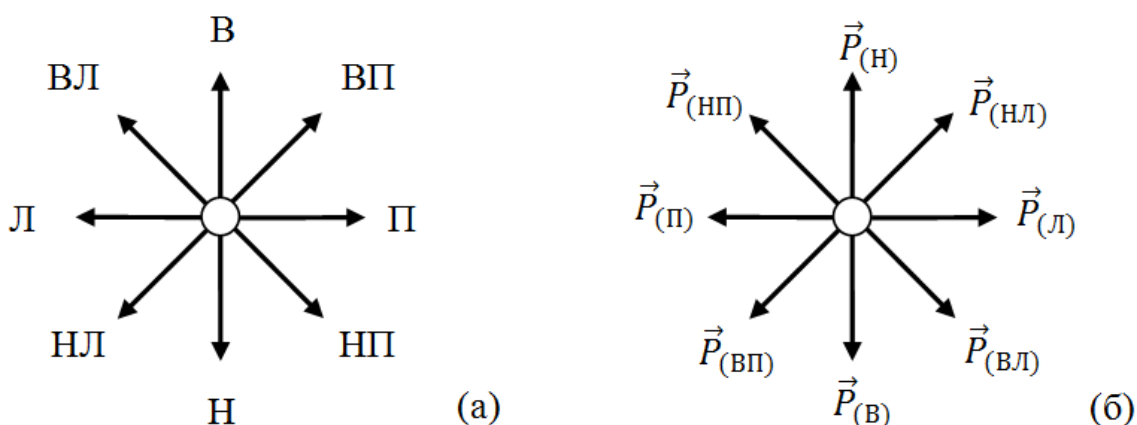


Рис. 3 – Вектора направлений измерений (а), и направлений отхода (б)

Каждому направлению ставится в соответствие вектор отхода от препятствия – вектор противоположного направления и единичной длины, например, для направления вперед это будет вектор  $\vec{P}_{(В)} = (0, -1)$ , вперед-вправо –  $\vec{P}_{(ВП)} = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$  и т.д. В модуле определена константа MaxDistance, которая задает максимальное расстояние, начиная с которого устройство должно начать отход от препятствия. Она определяется на основе

габаритов требуемой безопасной области, в которой может перемещаться мультикоптер.

Вектор  $\vec{D}$ , в направлении которого устройство будет отходить от препятствия, изначально нулевой. Для каждого измеренного расстояния проверяется условие, что расстояние меньше установленного значения MaxDistance. Если условие выполняется (на рис. 2 условие выполняется для направлений «В», «ВЛ», «Л», «НЛ»), то к вектору  $\vec{D}$  прибавляется соответствующий вектор отхода, масштабированный на величину, обратную расстоянию до препятствия (MaxDistance – расстояние до препятствия).

Таким образом, модуль отхода от препятствий формирует вектор  $\vec{D}$ , который указывает направление отхода от препятствия (красная стрелка на рис. 2). Длина вектора  $\vec{D}$  пропорциональна скорости отхода от препятствия. Крен и тангаж мультикоптера рассчитываются как пропорции координат вектора  $\vec{D}$  по отношению к сумме его координат.

Модуль перехвата управления получает команды, передаваемые от пульта управления оператором.

Модуль принятия решений получает команды оператора, значения газа для стабилизации высоты, вектор отхода от препятствий. На основе полученных данных принимается решение о необходимости «перехвата» управления. Если «перехват» не нужен, то модуль принятия решений передает команды, полученные от оператора, плате стабилизации. Если «перехват» управления необходим, то модуль принятия решений формирует значения газа, тангажа и крена в соответствии со значениями, полученными от других модулей, и передает их плате стабилизации вместо команд оператора. В случае отсутствия команд от оператора и отсутствия необходимости «перехвата» управления в течении заданного времени модуль принятия решений выполняет плавную посадку мультикоптера, передавая

---

соответствующие команды плате стабилизации, после чего выключает двигатели мультикоптера.

### **Заключение**

Построенная электронно-программная система обеспечения безопасного движения мультикоптера представляет собой законченный электронно-программный продукт. ЭПСОБДМ может быть установлена на мультикоптере, позволяющем закрепить на его корпусе дальномеры, передатчик и управляющую плату, которую можно подсоединить к плате стабилизации. Установка системы позволит обеспечить более безопасное использование мультикоптера внутри помещений.

### **Литература**

1. Гулевич С. П., Веселов Ю. Г., Прядкин С. П., Тырнов С. Д. Анализ факторов, влияющих на безопасность полета беспилотных летательных аппаратов. Причины авиационных происшествий беспилотных летательных аппаратов и способы их предотвращения // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 12. URL: [technomag.neicon.ru/doc/500452.html](http://technomag.neicon.ru/doc/500452.html).

2. Fuggetti G., Ghetti A., Zanzi M. Safety Improvement of Fixed Wing mini-UAV Based on Handy FDI Current Sensor and a Fail-Safe Configuration of Control Surface Actuators // Proceedings, 2nd IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace. 2015. pp. 356–361.

3. Герасимов П.К., Егоров Д.А. Аспекты безопасности управления автономными беспилотными летательными аппаратами в городской среде // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2014. Том. 14. № 5. С. 130-132.

4. Полтавский А.В., Рякин А.В. Обеспечение безопасности полетов беспилотных летательных аппаратов // Научный вестник Московского

---

государственного технического университета гражданской авиации. 2007. №119. С. 152–157.

5. Cruz H., Eckert M., Meneses J. Efficient Forest Fire Detection Index for Application in Unmanned Aerial Systems (UASs) // Sensors. 2016. Vol.16. №6: 893.

6. Шилова Н.А., Данилов А.А. Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга объектов морской фауны // Вестник северного (арктического) федерального университета. Серия: естественные науки. 2014. №3. С. 130–134.

7. Погорелов В.А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Инженерный вестник Дона, 2016, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3571.

8. Белоглазов Д.А., Коберси И.С., Косенко Е.Ю., Соловьев В.В., Шадрин В.В. Анализ особенностей практического использования регуляторов систем автоматического управления квадрокоптерами // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3078.

9. Гоноболев А.С., Когочев А.Ю., Лекарев А.О. Система обнаружения препятствий для мультикоптера // Resources and Technology, 2014, Т.11, № 2. URL: rt.petrsu.ru/files/pdf/2902.pdf.

10. Когочев А.Ю., Лекарев А.О., Гоноболев А.С., Комендатенко С.Д., Система обнаружения препятствий для мобильной роботизированной платформы // Современная техника и технологии, 2015, №12. URL: technology.snauka.ru/2015/12/8799.

## References

1. Gulevich S. P., Veselov Yu. G., Pryadkin S. P., Tyrnov S. D. Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana (Rus), 2012. № 12. URL: technomag.neicon.ru/doc/500452.html.





2. Fuggetti G., Ghetti A., Zanzi M. Safety Improvement of Fixed Wing mini-UAV Based on Handy FDI Current Sensor and a Fail-Safe Configuration of Control Surface Actuators. Proceedings, 2nd IEEE International Workshop on Metrology for Aerospace. 2015. pp. 356–361.
3. Gerasimov P.K., Egorov D.A. Fundamental'nye problemy radioelektronnogo priborostroeniya (Rus), 2014. Vol. 14. № 5. pp. 130–132.
4. Poltavskiy A.V., Ryakin A.V. Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviatsii (Rus). 2007. №119. pp. 152–157.
5. Cruz H., Eckert M., Meneses J. Efficient Forest Fire Detection Index for Application in Unmanned Aerial Systems (UASs). Sensors. 2016. Vol.16. №6: 893.
6. Shilova N.A., Danilov A.A. Vestnik severnogo (arkticheskogo) federal'nogo universiteta. seriya: estestvennyye nauki. 2014. №3. pp. 130–134.
7. Pogorelov V.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3571](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3571).
8. Beloglazov D.A., Kobersi I.S., Kosenko E.Yu., Solov'ev V.V., Shadrina V.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3078](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3078).
9. Gonobolev A.S., Kogochev A.Yu., Lekarev A.O. Resources and Technology, 2014, Vol.11, № 2. URL: [rt.petrstu.ru/files/pdf/2902.pdf](http://rt.petrstu.ru/files/pdf/2902.pdf).
10. Kogochev A.Yu., Lekarev A.O., Gonobolev A.S., Komendatenko S.D. Sovremennaya tekhnika i tekhnologii (Rus), 2015, № 12. URL: [technology.snauka.ru/2015/12/8799](http://technology.snauka.ru/2015/12/8799).