

# 12, декабрь, 2015

УДК 528.71:629.735

## **Система дистанционного автоматического управления БПЛА на основе технического зрения**

*Титков И.П., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
Аэрокосмический факультет, кафедра «Системы  
автоматического управления»*

*Научный руководитель: Карпунин А.А., к.т.н., доцент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Системы автоматического управления»*

*[ksans@yandex.ru](mailto:ksans@yandex.ru)*

Целью работы является разработка системы дистанционного автоматического управления (СДАУ) беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) на основе технического зрения. СДАУ использует изображение, полученное со стереокамер, для определения положения БПЛА и выработки управляющих команд для решения задачи стабилизации.

Полетный контроллер (ПК) обеспечивает функционирование мультикоптера: стабилизация аппарата; удержание высоты (барометр) и положения (GPS, ГЛОНАСС). Дополнительными возможностями являются автоматический полет по заданным точкам, передача телеметрии, автоматическая посадка, управление внешней периферией. Контроллеры по открытости исходных кодов и схем можно разделить на закрытые (DJI) и открытые (MultiWii, ArduCopter).

В работе рассматривается создание системы дистанционного управления для аппарата V262 производства WLToys. Проприетарный полетный контроллер и пульт управления используют протокол FlySky, поддерживают 6 каналов и работают на частоте 2,4 ГГц. Достоинством данного БПЛА является низкая цена комплекта, наличие системы автоматической стабилизации и возможность подключения дополнительного оборудования с возможностью управления состоянием «включен» или «выключен».

## Система дистанционного автоматического управления

В общем случае, в эргатическую систему ДУ БПЛА входят: оператор; пульт ДУ; БПЛА с полетным контроллером, выполняющим дешифрацию и выполнение команд ДУ. Оператор управляет движением центра и вокруг центра масс БПЛА.

В СДАУ функции оператора выполняет система определения положения и ориентации БПЛА и выработки управляющих команд. Комплекс СДАУ может выполнять задачи, связанные с приемом телеметрии, обработкой информации, поступающей с целевой аппаратуры БПЛА, управлять несколькими аппаратами одновременно. Функциональная схема СДАУ представлена на рис. 1.

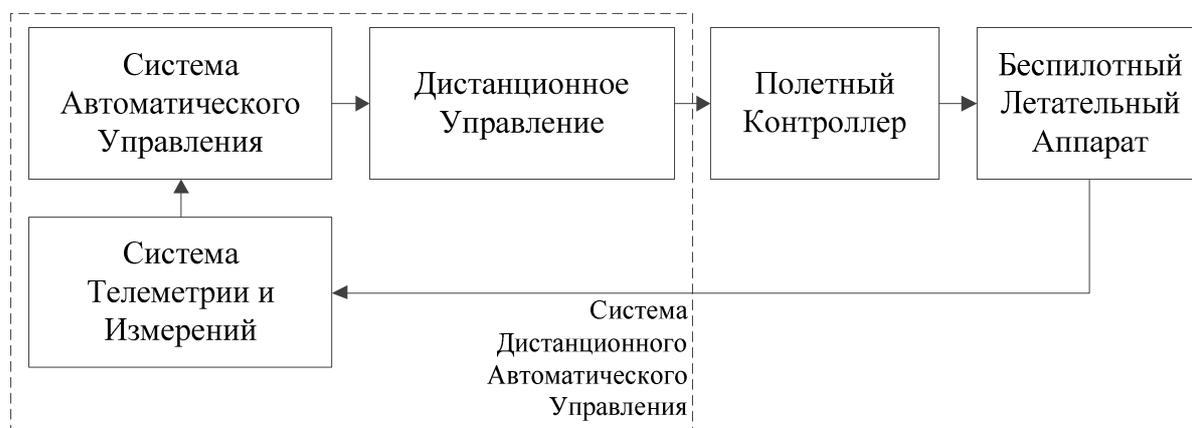


Рис. 1. Функциональная схема СДАУ

Основными функциями системы автоматического управления (САУ), в таком случае, являются: обработка результатов измерений; регулирование целевых координат БПЛА путем выработки управляющих команд в формате, передаваемым по каналу передачи «ДУ» – «ПК» и принимаемых ПК. На основе полученных данных ПК управляет тягой и движением вокруг центра масс (скоростью вращения двигателей). Система телеметрии и измерений (СТИ) выполняет измерения и прием телеметрии.

## Особенности системы автоматического дистанционного управления

По способу размещения СДАУ и СТИ можно разделить на наземные и бортовые. Подсистемы СТИ могут одновременно размещаться как на наземном пункте управления, так и на самом БПЛА. Размещение СДАУ на борту позволяет практически заменить проприетарный ПК, разместить и управлять произвольными средствами измерения и оборудованием при сохранении исходных качеств штатного ПК БПЛА. Возможно комплексование СТИ бортовыми и наземными средствами для расширения сферы и условий применения, решения качественно новых задач, резервирования или улучшения

качества по сравнению с бортовым ПК. Например, наземный комплекс управления с применением лидаров, стереозрения, радиолокации, бортовой комплекс со спутниковой навигационной или оптико-электронной системой, средствами измерения ускорений и угловых скоростей.

### **Варианты реализации**

Можно выделить основные варианты реализации СДАУ:

1. Наземная СДАУ с СТИ на основе технического зрения. Имеет ограниченный условия применения, точность зависит от выбранных технических средств, технологий и алгоритмов – по изображению с одной или нескольких камер, применению дополнительных видимых элементов БПЛА. Возможности применения подобной системы в задачах управления несколькими аппаратами рассмотрены в работе [2].

2. Наземная СДАУ с СТИ на основе технического зрения и бортовой СТИ, измеряющей целевые параметры, например, ориентацию или угловые скорости. Для управления дополнительным бортовым оборудованием требуются отдельные каналы связи.

3. Комбинированная СДАУ, размещенная на борту и имеющая канал связи с наземным пунктом. Размещение подсистем СДАУ на борту позволяет управлять дополнительным бортовым оборудованием. Наземные подсистемы СДАУ позволяют решать дополнительные задачи, требующие вычислительных мощностей, например, распознавание изображений, управление съемкой. Для передачи телеметрии и передачи видео необходимы дополнительные каналы связи.

4. Бортовая автономная СДАУ, размещенная на борту. Позволяет решать задачи траекторного управления и безопасности в автономном полете. Не требует дополнительных каналов связи и вмешательства в штатный ПК.

Наибольшими возможностями обладает третий вариант – комплексирование наземных, бортовых и воздушных (других БПЛА) систем. Отдельной задачей при проектировании комплексов является оптимизация различных уровней и систем для повышения быстродействия, точности, снижения стоимости и осуществления резервирования [4]. В данной работе рассматривается первый вариант системы, реализующий базовые возможности СДАУ. На основе изложенных далее принципов возможно реализовать остальные варианты системы. При передаче данных бортовой СТИ необходимо учитывать рассогласование результатов измерений наземной и бортовой систем.

## Практическая реализация

Далее рассматривается практическая реализация наземной СДАУ с СТИ на основе технического зрения и с применением дополнительных видимых элементов на БПЛА. Для управления положением и курсом необходимо использовать четырехканальный регулятор, заменяющий отклонения джойстиков оператором.

## Эргатическая СДАУ

Основа комплекса состоит из БПЛА v262с производства WIToys и пульта ДУ серии v202 (212, 222, 262).

Пульт ДУ имеет два двухосевых джойстика для управления тягой, курсом и перемещениями в плоскости. Четыре дополнительных кнопки для установки нулевых значений положения джойстиков. Четыре кнопки для ограничения наибольших значений отклонения джойстиков (кроме тяги). Две кнопки для управления подсветкой и переключения режима работы дополнительного оборудования.

Используемый протокол – FlySky. В качестве приемника ПК и передатчика пульта ДУ используется пара A7105.

## Система дистанционного управления на базе Arduino и nRF24L01

В данной работе рассматривается пример системы дистанционного управления на базе микроконтроллера Arduino (AVR) и модуля беспроводной связи 2,4 ГГц nRF24L01.

## Прием команд

Разбор протокола пульта ДУ устройства выполнен на базе библиотеки v202-receiver (исходный код программы приемника nRF24L01; режим доступа: <https://github.com/execuc/v202-receiver>; дата обращения 28.02.15). Далее приведен обзор восьми основных команд. Используемый приемник – nRF24L01.

В табл. 1 и 2 представлены разбор протокола обмена и значений пульта, полученных от пульта ДУ с использованием данной библиотеки.

Таблица 1

Разбор протокола обмена пульта ДУ

Номер байта	1		2		3		4	
Назначение	Тяга		Курс		Перемещение			
Диапазон	Мин	Макс	Против	По	Назад	Вперед	Влево	Вправо
Значения	0	254	-127	127	-127	127	-127	127

Разбор протокола обмена пульта ДУ

Байт	5		6		7		8	
Назначение	Курс		Перемещение				Флаг	
Комментарий	Против	По	Назад	Вперед	Влево	Вправо		
Диапазон	-64	64	-64	+64	-64	64		
Шаг изменения	-2	+2	-2	+2	-2	+2		

В табл. 1 указаны номера байтов, назначение и диапазон изменения значений. В табл. 2 указаны значения, соответствующие установке в нейтральное положение джойстиков, номера байтов, назначение, диапазоны изменения и шаг изменения. Фактически, протокол передачи состоит более чем из 8 слов по одному байту. Рассматриваются только восемь байт: первые четыре отвечают за тягу, курс, перемещение в плоскости; байты с пятого по шестой отвечают за калибровку; последний байт отвечает за передачу «флага». ПК в зависимости от последнего байта включает или выключает подсветку, выполняет фото или видеосъемку. Библиотека v202\_receiver приводит значения к диапазонам, включающим отрицательные числа. Также для установления соединения пульта с конкретным аппаратом выполняется передача идентификатора и прочей служебной информации.

### Передача команд

Передача команд с использованием Arduino выполнена на базе библиотеки v202 (исходный код программы передатчика nRF24L01; режим доступа: <https://bitbucket.org/rivig/v202/>; дата обращения 28.02.15). Используемый передатчик – nRF24L01. Приемник команд ПК – А7105.

В качестве примера в библиотеке приведен код для работы с двумя подключенными джойстиками и передатчиком. В передаваемую команду входит 4 основных переменных: тяга, курс, крен и тангаж (отвечают за перемещение в плоскости), а также «флаг», отвечающий за управление оборудованием. Использование открытых исходных кодов указанных библиотек и возможностей платформы Arduino позволяет реализовать любой из вариантов СДАУ.

### Техническое зрение

Использование одной камеры серьезно ограничивает возможности по определению положения и ориентации. Возможно получить лишь оценку углового положения объекта

относительно камеры. Применение стереокамер в простейшем случае позволяет путем триангуляции определить расстояние до объекта:

$$d = \frac{b \sin \eta_1 \sin \eta_2}{\sin(\pi - \eta_1 - \eta_2)},$$

где  $b$  – база между камерами;  $\eta_1$  и  $\eta_2$  – углы пеленга «яркого пятна» для первой и второй камер соответственно.

Вопросы проектирования систем обработки изображений с применением стереозрения в задачах управления БПЛА подробно рассмотрены в [1].

Основной задачей является определение положения и ориентации аппарата, либо обеспечение траекторной безопасности. Определение положения в общем случае сводится к поиску аппарата по заранее известным признакам, например расцветке или бортовым навигационным огням. При использовании карты глубины уточняющим признаком служат размеры аппарата и его удаленность от других объектов [6].

Применение технического зрения в задачах управления позволяют дополнительно решать задачи обеспечения траекторной безопасности: определение статических и динамических препятствий, а также в случае группового полета – описание вокруг центра масс БПЛА запрещенной зоны заданного радиуса для полета других аппаратов [2-5].

### Практическая реализация

В качестве практического примера рассматривается СДАУ с применением стереозрения и БПЛА с центральным бортовым навигационным огнем. Бортовой огонь состоит из матового рассеивателя и источника света. Для стабилизации каждой целевой координаты БПЛА следует использовать соответствующий регулятор. На рис. 2 представлена функциональная схема СДАУ высотой полета БПЛА на основе технического зрения.

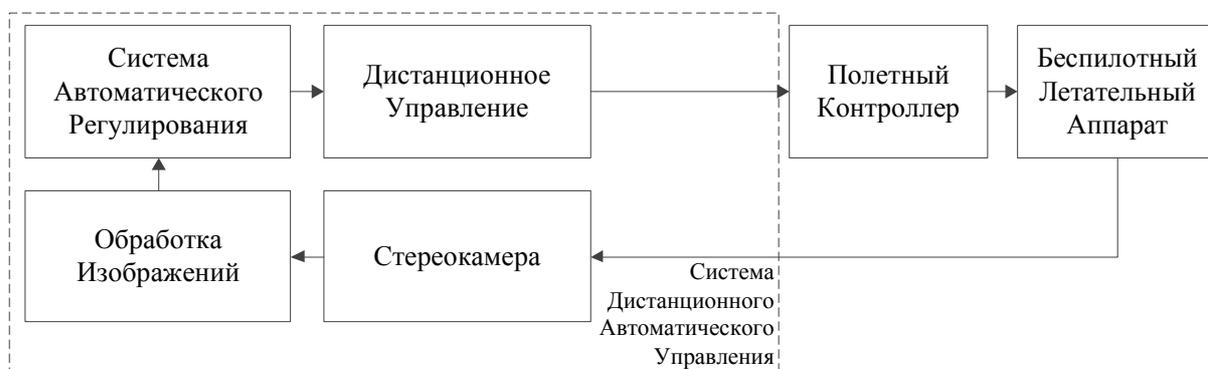


Рис. 2. Функциональная схема СДАУ высотой полета БПЛА на основе стереозрения

СТИ является обратной связью в системе регулирования высоты и состоит из системы обработки изображений и одной или двух камер. При использовании одной камеры возможно определение только положения бортового огня относительно камеры. При использовании двух камер определению подлежат положение и расстояние до объекта путем триангуляции. Система обработки изображений выполняет простейшую операцию бинаризации по уровню или цвету, после чего определяет центр масс полученного «яркого» пятна на изображении. На рис. 3 представлен внешний вид БПЛА с закрепленным бортовым огнем. На рис. 4 представлен результат использования операции бинаризации по уровню для изображения в оттенках серого, полученного в помещении при дневном освещении.



Рис. 3. Внешний вид БПЛА с бортовым навигационным огнем



Рис. 4. Результат использования операции бинаризации по уровню

В качестве регулятора целесообразно использование ПД-регулятора, так как СТИ определяет положение. Для стабилизации высоты необходимо определять положение относительно соответствующей приборной оси камеры или смещение БПЛА и регулировать его положение – управлять тягой двигателя через систему ДУ. Регулятор также может быть реализован средствами Arduino – результаты измерений СТИ и требуемая высота БПЛА могут быть отправлены по последовательному порту на микроконтроллер, на базе которого реализовано ДУ, или вычисленная СДАУ величина тяги отправлена на систему ДУ.

### **Заключение**

В данной статье рассмотрены варианты построения систем дистанционного автоматического управления беспилотными летательными аппаратами с использованием штатного оборудования, полетных контроллеров и протоколов дистанционного

управления. В качестве примера разобран протокол обмена FlySky пульта управления квадрокоптером WlToys v262. Рассмотрена реализация системы дистанционного управления на базе Arduino и модуля беспроводной связи nRF24L01. Предложен вариант системы телеметрии и измерений на основе технического зрения. Использование простейших процедур бинаризации и триангуляции для изображений аппарата с бортовым навигационным огнем и ПД-регулятором положения позволяет управлять положением в реальном времени. Использование готовых полетных контроллеров и протоколов дистанционного управления позволяет в кратчайшие сроки создавать прототипы систем управления, проводить отработку алгоритмов и летные испытания. Предложенные подходы могут быть адаптированы для аппаратов традиционной схемы.

### Список литературы

1. Титков И.П. Применение машинного зрения в задачах координированного управления группой БПЛА в плоскости // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 11. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/744623.html> (дата обращения 28.02.2015).
2. Воронов Е.М., Карпунин А.А. Обеспечение траекторной безопасности в задаче облета динамической круговой зоны // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2011. № 12. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/file/505024.html?s=1>.
3. Воронов Е.М., Карпунин А.А. Обеспечение траекторной безопасности в задаче облета статичной круговой зоны // Вестник Российского университета дружбы народов. Инженерные исследования. 2012. № 1. С. 58-70.
4. Воронов Е.М., Карпунин А.А., Ванин А.В. Оптимизация управления структурно сложными системами // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 10 (22). Режим доступа: <http://engjournal.ru/articles/1080/1080.pdf>.
5. Карпунин А.А., Зазирный Е.А. Исследование задачи аппроксимации траектории плоского разворота летательного аппарата в заданном диапазоне высот и скоростей на основе рассчитанных опорных траекторий // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013 № 10 (22). Режим доступа: <http://engjournal.ru/articles/1090/1090.pdf> (дата обращения 28.02.2015).
6. Hartley, R.I., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, 2004. 672 p.