

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Специальность 6В06201 – Телекоммуникация

Усманова Алмажан Ерлановна

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

«Система управления для квадрокоптера для мониторинга малых объектов в
условиях городской агломерации»

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт автоматки и информационных технологии

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТ и КТ
канд. техн. наук
Е. Таштай
"30" 05 2024 г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Система управления для квадрокоптера для мониторинга малых
объектов в условиях городской агломерации

6B06201 – Телекоммуникация

Выполнил:

Усманова Алмажан Ерлановна

Рецензент:

PhD, и.о доцент

КазНУ имени аль-Фараби

(ученая степень, звание)

Омаров Б.С.

подпись ФИО

«29» 05 2024 г.

Научный руководитель

Кандидат технических наук

ассоциированный профессор

(ученая степень, звание)

Дараев А.М.

подпись ФИО

«27» 05 2024 г.



Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

6B06201 – Телекоммуникация



ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающейся Усманова Алмажан Ерлановне

Тема: «Система управления для квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации».

Утверждена приказом Ректора Университета № 548 П/Ө от «4» декабря 2023 года.

Срок сдачи законченной работы «30» 05 2024 г.

Исходные данные к дипломной работе: структура и система управления квадрокоптера, управление квадрокоптером по радиоканалу и по GPS, ЭМС квадрокоптера, программа Matlab.

Краткое содержание дипломной работы: а) структура квадрокоптера; б) система видеопередачи и передвижения квадрокоптера; в) динамика полета квадрокоптера в Matlab/Simulink.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию и представлению в дипломной работе:

1. Концепция квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации.
2. Исследования системы видеопередачи и передвижения квадрокоптера в условиях городской застройки.
3. Выведение динамики полета квадрокоптера в Matlab/Simulink

ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
Исследовать структуру и систему управления квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации.	1.09.2023-31.12.2023	Выполнено
Система управления квадрокоптера по радиоканалу и по GPS.	16.02.2024-31.03.2024	Выполнено
Обеспечение ЭМС квадрокоптера в условиях городской агломерации.	01.04.2024-14.04.2024	Выполнено
Использование квадрокоптера государственными ведомствами: МЧС, МВД и КНБ.	15.04.2024-30.04.2024	Выполнено

Подписи

консультантов и нормконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты Ф.И.О (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретическая часть	Ассоциированный профессор, кандидат тех. наук Дараев А.М	29.05.2024	<i>Дараев</i>
Практическая часть	Ассоциированный профессор, кандидат тех. наук Дараев А.М	29.05.2024	<i>Дараев</i>
Нормконтролер	Старший преподаватель каф. ЭТиКТ, PhD. Досбаев Ж. М.	29.05.2024	<i>Досбаев</i>

Научный руководитель _____ *Дараев* _____ Дараев А.М

Задание приняла к исполнению обучающаяся _____ *Усманова* _____ Усманова А.У.

Дата «20» 12 2023 г.

АНДАТПА

Ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА, дрон, квадрокоптер, гексакоптер, октокоптер) соңғы 10 жылда үлкен танымалдылыққа ие болды. Оның төмен құнына, икемділігіне, маневрлігіне және тиімділігіне байланысты мұндай құрылғыларды қолдану саласы жыл сайын артып келеді. Төтенше жағдайлар министрлігі (ТЖМ), Ішкі істер министрлігі (ІІМ), Ұлттық қауіпсіздік комитеті (ҰҚК) ведомстволары үшін қалалық жағдайларда әртүрлі объектілер мен субъектілерді мониторингтеу мақсатында ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану өзекті болып табылады. Терең оқытудың әртүрлі әдістері объектілерді бақылау мен анықтауда квадрокоптерлерге ықпал етуі мүмкін.

Бұл дипломдық жұмыста квадрокоптерді басқару жүйесінің синтезі, ҰҰА көмегімен объектілерді бақылаудың әртүрлі алгоритмдері, оларды құқық қорғау органдарында пайдалану және квадрокоптерді Қалалық агломерация жағдайында электромагниттік толқындардан қорғаумен қамтамасыз ету ұсынылған.

АННОТАЦИЯ

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА, дрон, квадрокоптер, гексакоптер, октокоптер) обретают большую популярность в последние 10 лет. В виду своей низкой стоимости, гибкости, маневренности и эффективности область применения подобных устройств возрастает с каждым годом. Использование беспилотных летательных аппаратов в целях мониторинга различных объектов и субъектов в городских условиях для ведомств Министерства чрезвычайных ситуации (МЧС), Министерства внутренних дел (МВД), Комитета национальной безопасности (КНБ) является актуальным. Различные методы глубокого обучения могут поспособствовать квадрокоптерам в мониторинге и обнаружении объектов.

В этом дипломной работе представлены синтез системы управления квадрокоптером, различные алгоритмы мониторинга объектов с помощью БПЛА, использование их в правоохранительных органах и обеспечение квадрокоптера защитой от электромагнитных волн в условиях городской агломерации.

ANNOTATION

Unmanned aerial vehicles (UAVs, drones, quadcopters, hexacopters, octocopters) have been gaining great popularity in the last 10 years. Due to its low cost, flexibility, maneuverability and efficiency, the scope of application of such devices is increasing every year. The use of unmanned aerial vehicles in order to monitor various objects and subjects in urban conditions is relevant for the

departments of the Ministry of Emergency Situations, the Ministry of Internal Affairs, and the National Security Committee. Various deep learning methods can assist quadcopters in monitoring and detecting objects.

This thesis presents the synthesis of the quadcopter control system, various algorithms for monitoring objects using UAVs, their use in law enforcement agencies and providing the quadcopter with protection from electromagnetic waves in urban agglomeration.

СОДЕРЖАНИЯ

Введение	
1	Структура и система управления квадрокоптера для мониторинга малых объектов 9
1.1	Принцип полета квадрокоптера 9
1.2	Структура квадрокоптера для мониторинга 11
2	Захват и передача изображения 14
2.1	Передача видеопотока 14
2.2	Захват объекта квадрокоптером 15
2.3	Распознавание и отслеживание объекта 16
2.4	Методы обнаружения объектов БПЛА, основанный на глубоком обучении 17
3	Система управления квадрокоптера по радиоканалу и по GPS 20
3.1	Система телекоммуникации 20
3.2	Способы управления квадрокоптером 20
3.3	Управление квадрокоптером по радиоканалу 21
3.4	Автономный полет квадрокоптера 22
4	Электромагнитная совместимость БПЛА в городских условиях 25
4.1	Влияние электромагнитных помех на систему БПЛА 25
4.2	Обеспечение электромагнитной совместимости БПЛА 27
5	Применение квадрокоптера в целях мониторинга для ведомств ДЧС, МВД, КНБ 29
5.1	Использование квадрокоптера-монитора Министерством чрезвычайных ситуации 29
5.2	Использование квадрокоптера-монитора Министерством внутренних дел 30
5.3	Использование квадрокоптера-монитора Комитетом национальной безопасности 31
6	Исследование квадрокоптера для мониторинга 32
6.1	Исследование квадрокоптера для мониторинга 32
6.2	Исследование существующего квадрокоптера для мониторинга 34
6.3	Динамика квадрокоптера в Matlab 37
Заключение	
Список использованной литературы	

ВВЕДЕНИЕ

Множество технологии, изначально созданные в военных целях, в мирное время находят свое применение и среди гражданского населения. Одним из представителей таких оборудований стали беспилотные летательные аппараты (БПЛА), известные также как дроны. Вначале своего существования, БПЛА применялись в объектах стратегически важных, например, в аэропортах, или же на поле войны, служа летающими разведчиками и доставщиками взрывных устройств.

На данный момент, спектр услуг, представляемыми маленькими летательными аппаратами, не ограничивается изучением вражеской территории и подкидыванием бомб. Дроны используются для съемок видео и фото, для доставки, для картографирования и так далее.

Использование квадрокоптера, БПЛА с четырьмя винтами, для мониторинга малых объектов объясняется его небольшим размером и маневренностью. Такой квадрокоптер удобно носить с собой в случае необходимости мониторинга отдаленных и труднодоступных местах.

Целью данной дипломной работы является исследование системы управления квадрокоптером для мониторинга, обеспечение электромагнитной совместимости и описание способы применения квадрокоптера государственными ведомствами.

1 Структура и система управления квадрокоптера для мониторинга малых объектов

1.1 Принцип полета квадрокоптера

Квадрокоптер – это вид БПЛА, осуществляющий свой полет с помощью четырех вентиляей, каждая пара расположена перпендикулярно друг от друга.

Каждый дрон состоит из главных частей: корпус, встроенная электронная система и роторы. Корпус объединяет в себе все части БПЛА, и в частых случаях он оснащен защитными механизмами, защищающие детали дрона и содействующими в полете.

Встроенная электронная система содержит в себе микроконтроллеры БПЛА, которые принимают и отправляют сигналы с наземной станции до летательного оборудования и наоборот. Роторы или по-другому двигатели принимают сигналы от внутренней электронной системы и создают крутящийся момент, обеспечивая полет и направление летательного аппарата [1].

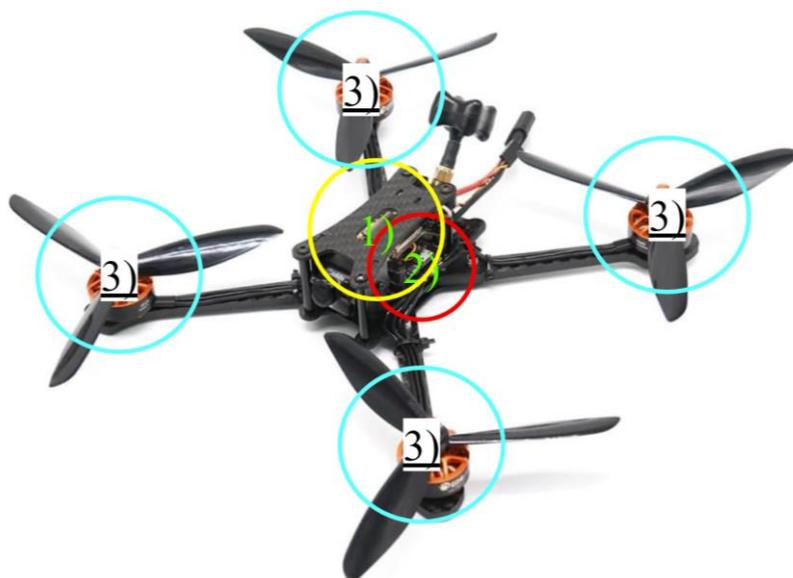


Рисунок 1.1 – Строение обычного квадрокоптера. 1) – корпус, 2) – внутренняя электроника, 3) – роторы (двигатели)

Роторы 3 отвечают за полет-посадку БПЛА. Каждый из них может иметь независимую друг от друга скорость, что облегчает исполнение три угла поворота: тангаж, крен, рыскание.

Тангаж достигается путем понижения (или повышения) заднего двигателя и повышения (или понижения) скорости переднего.

Рыскание достигается путем понижения (повышения) скорости правого двигателя и повышения (понижения) левого.

Крен достигается путем понижения (повышения) переднего-заднего двигателей и повышения (понижения) левого-правого [2].

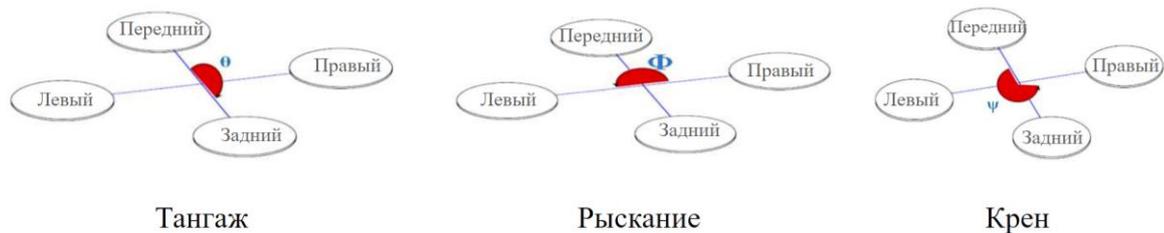


Рисунок 1.2 – Тангаж, рыскание и крен квадрокоптера

Взлет квадрокоптера осуществляется путем одинакового крутящегося момента всех двигателей, то есть все роторы должны одинаково повышать скорость своего вращения. Приземление же происходит одинаковым понижением скорости всех двигателей.

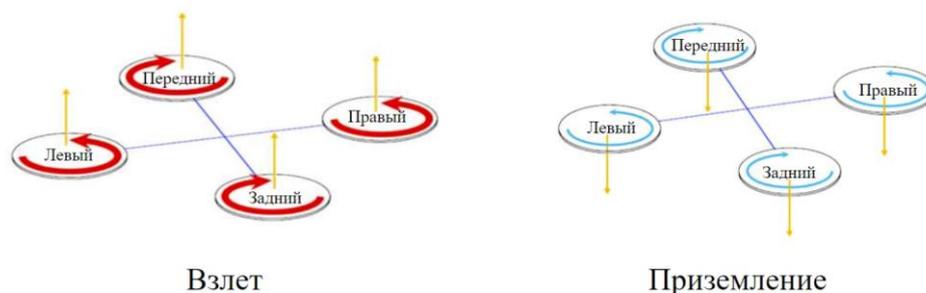


Рисунок 1.3 – Движение двигателей при взлете и приземления квадрокоптера

Движение вперед БПЛА обеспечивает путем увеличения скорости заднего двигателя, а заднее движение – путем увеличения переднего. Одновременное изменение скоростей названных двигателей повлияет на угол тангажа летательного аппарата.

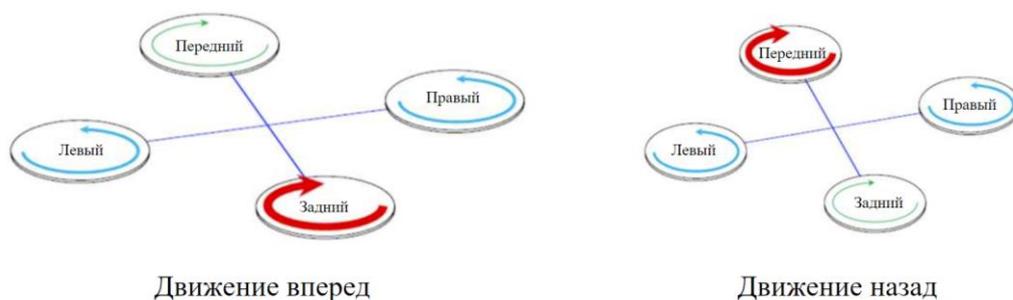


Рисунок 1.4 – Переднее и заднее направление квадрокоптера

Рыскание дает дрону повернуться на правую или левую сторону путем изменения скорости пары двигателей противоположно другой [2].

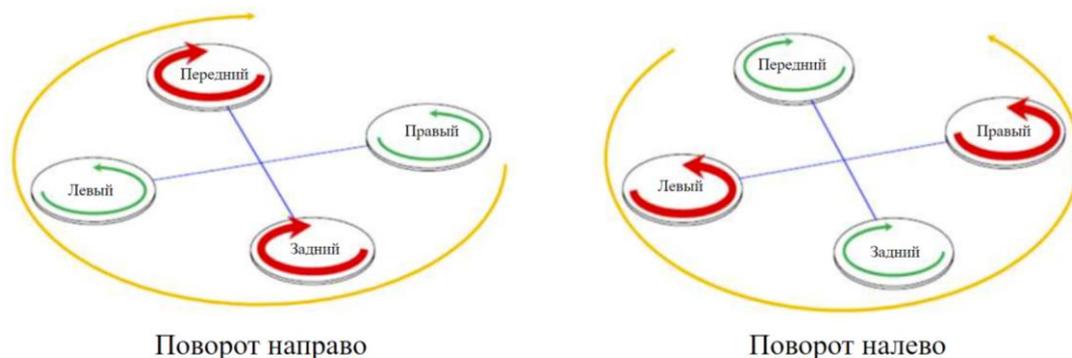


Рисунок 1.4 – Поворот направо и налево квадрокоптера

1.2 Структура квадрокоптера для мониторинга

Структура квадрокоптера имеет вышеперечисленные основы, вдобавок, в зависимости от его цели применения, может иметь дополнительные компоненты. Основная блок-схема квадрокоптера представлена ниже.

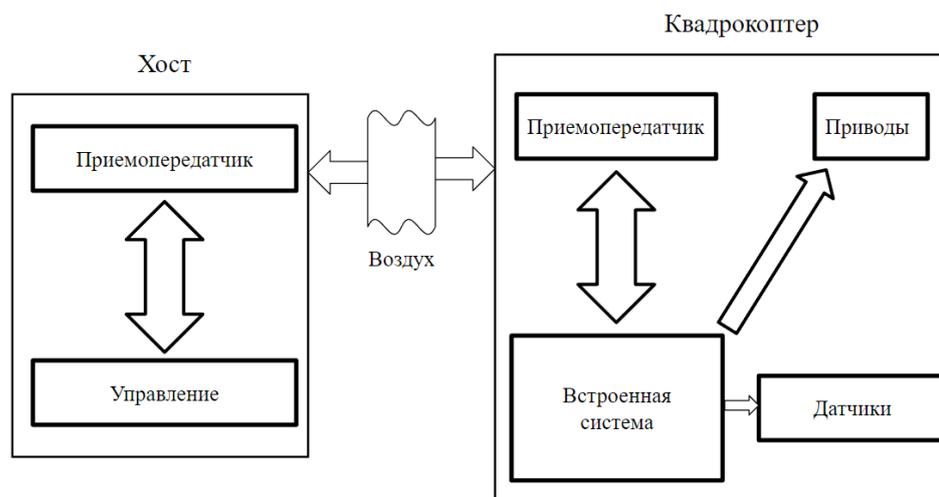


Рисунок 1.5 – Общая блок-схема квадрокоптера

Цель приемопередатчика заключается в приеме и передаче сигнала от хоста до квадрокоптера и наоборот. Хостом может служить внешнее устройство, через который человек осуществляет управление летательным аппаратом, например, пульт управления. В зависимости от того, как человек нажимает на рычаги в пульте, хост отправляет модулированный сигнал через радиоволны квадрокоптеру, а приемопередатчик квадрокоптера демодулирует сигнал, далее отправляет его в встроенную систему. В встроенной системе заключается микроконтроллер, который принимает и обрабатывает сигналы от приемопередатчика и датчика, управляет исполнительными механизмами (приводами) аппарата: задает им скорость и направление [3].

Датчики необходимы для того, чтобы и дрон, и человек поняли где именно и в каких условиях находится БПЛА, Датчики, помогающие отслеживать направление квадрокоптера:

1. гироскоп, чтобы считывать угловую скорость;
2. акселерометр, чтобы узнать угол отклонения от вертикали;
3. компас;
4. высотомер для отслеживания высоты полета,
5. модуль GPS (Global Positioning System - спутниковая система навигации).

Датчики, предназначенные для мониторинга: камера, тепловизор [2].

Управление квадрокоптером может осуществляться как при помощи пульта, так и при помощи специальных компьютерных программ, несколько из них могут выполнять разные роли, начиная от определения маршрута дрона и заканчивая видеозаписи с камер в режиме реального времени.

Для полета дрона важно выбрать подходящий под требования микроконтроллер, который будет между собой связывать приемопередатчик и приводы. Сам полет осуществляется при помощи приводов или же по-другому двигателей.

Рассмотрим схему квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации.

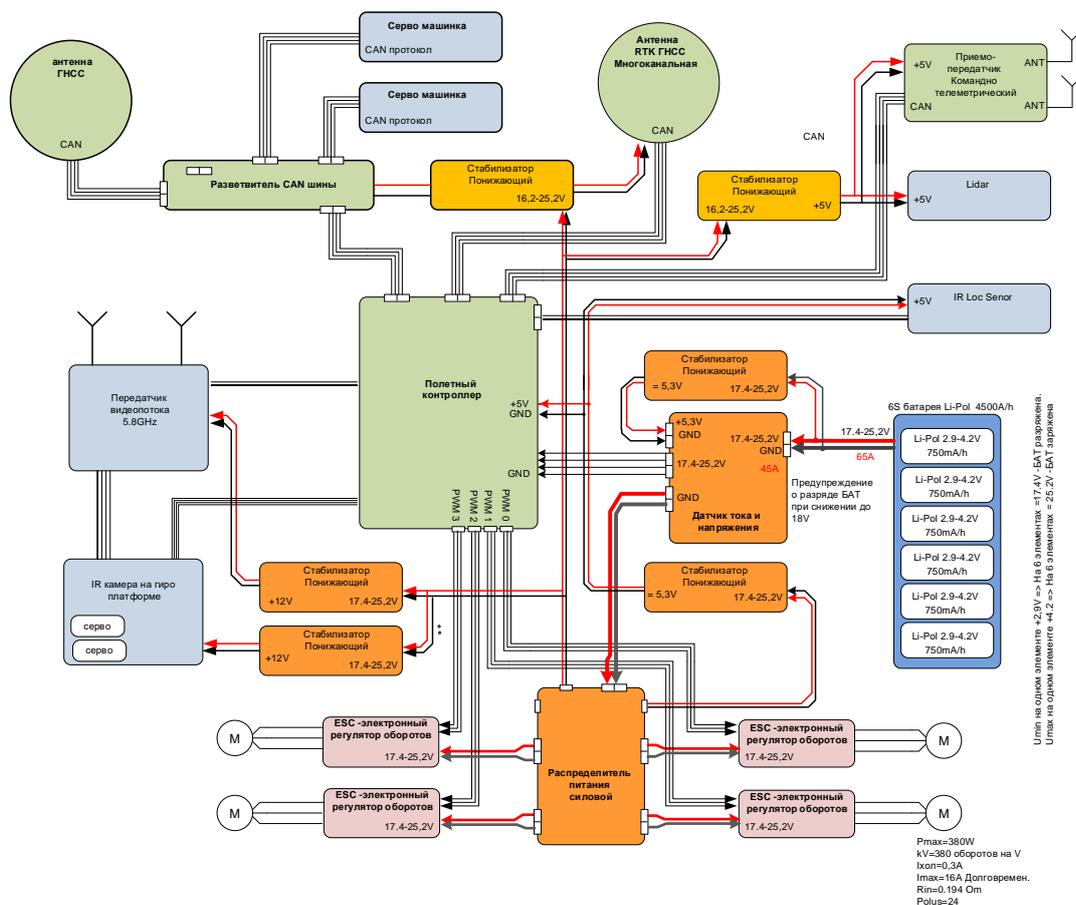


Рисунок 1.6 – Блок-схема квадрокоптера для мониторинга

Микроконтроллер полетного контроллера объединяет в себе каждый двигатель, привод и устройства связи. Он должен принимать и передавать радиосигналы с хоста и передавать данные датчиков наземной станции, чтобы обеспечить стабильный полет квадрокоптера. Немало важно учесть то, поддерживает ли выбранный полетный контроллер используемый оператором программу и модуль GPS.

Двигатели, отмеченные буквой М, отвечают за полет квадрокоптера. Для БПЛА распространенным видом двигателей является BLDC (Brushless Direct-Current) или же бесщеточные двигатели постоянного тока (БДПТ). БДПТ питается от источника постоянного тока через встроенный инвертор. Бесщеточный двигатель обычно состоит из ротора с постоянными магнитами и полюсов статора, обмотанных проволокой. Магнитные силы притяжения между полюсами ротора и статора создают вращающееся магнитное поле, которое преобразует электрическую энергию в механическую. В общей точке соединены три электромагнитных цепей, которые разделены в центре, благодаря чему ротор может двигаться в магнитном поле. Большинство двигателей постоянного тока имеют трехфазную схему обмотки с соединением "звезда", что позволяет одновременно включать две фазы для питания двигателя.

Антенна ГНСС (Глобальная навигационная спутниковая система) передает информацию о местонахождении квадрокоптера, также действует главным навигатором для автономного полета по заранее заданному маршруту специальным программным устройством. По этой причине важно установить связь между модулем GPS и полетным контроллером.

Камера захватывает изображение, а передатчик видеопотока отправляет их хосту, который подсоединен к компьютеру, показывающему изображение и видео.

Электронный регулятор скорости управляет скоростью и направлением двигателей. Количество электронного регулятора скорости зависит от количества пропеллеров. В случае с квадрокоптером, их должно быть четыре.

Так как квадрокоптер должен осуществлять полет без проводного соединения с наземной станцией, он должен быть обеспечен аккумулятором. Для БПЛА, осуществляющую передачу информации на расстоянии, существуют следующие виды аккумуляторов: никель-кадмиевый аккумулятор (NiCad), никель-металлогидридный аккумулятор (NiMH) и литий-полимерный аккумулятор (LiPo). Никель-кадмиевый аккумулятор имеет стойкость к большой температуре, но питание, которое он может в себе держать, уменьшается с каждой зарядкой. У никель-металлогидридного аккумулятора емкость на 30% больше, но вместе с этим же оно уменьшается ещё больше. У литий-полимерного аккумулятора емкость больше по сравнению с первыми два, но в это же время он чувствителен к большой температуре [2].

2 Захват и передача изображения

2.1 Передача видеопотока

Для передачи видео-контента необходимы камера, видеопередатчик на самом квадрокоптере и видеоприемник на наземной станции. Принцип их работы схож с приемопередатчиком команд управления.

Видеопередатчик БПЛА принимает видеосигналы с камеры и преобразует их в радиосигнал, который потом отправляется на видеоприемник наземной станции, откуда выводится на экран или, в некоторых случаях, в очки виртуальной реальности.

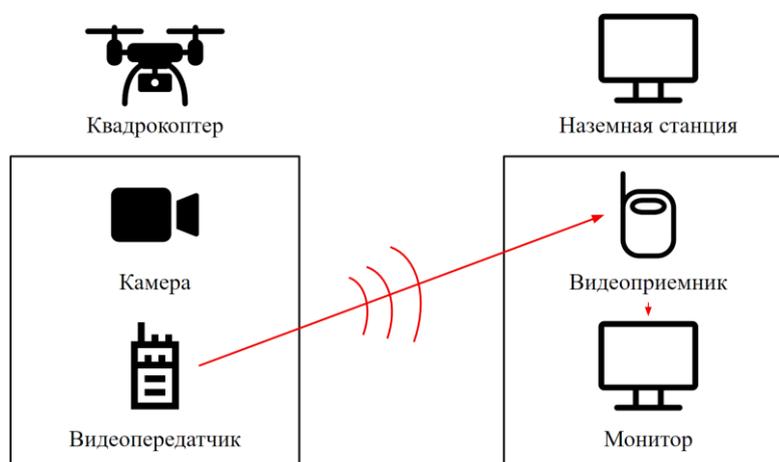


Рисунок 2.1 – Передача видеосигнала

Передача и прием видео осуществляются при помощи антенн. Разумным решением является использование антенны с всесторонним излучением. По форме, распространение сигнала напоминает пончик.

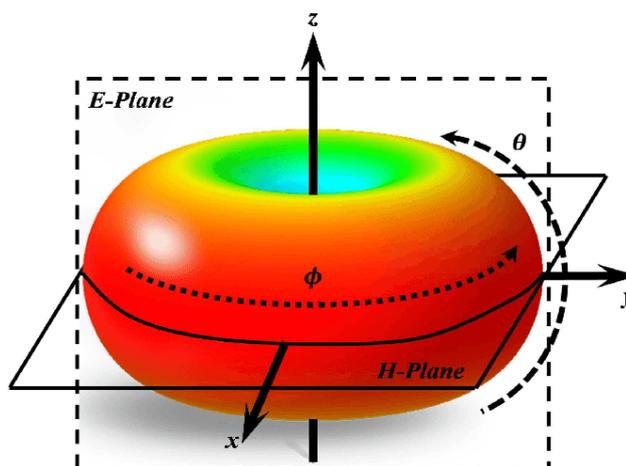


Рисунок 2.2 – Всесторонняя антенна

Как говорит само название, суть такой антенны заключается в распространении видеосигнала по всем сторонам. Преимуществом такой антенны является то, что в независимости от местонахождения БПЛА и видеоприемника, видеосигнал принимается одинаково со всех сторон в радиусе действия.

Иногда возникает необходимость в увеличении расстояния между БПЛА и приемником. Чем больше расстояние, тем ниже качество полученного видео. Один из способов решения проблемы — это выбрать более сильные приемники и передатчики, но тогда возникают проблемы:

- Более сильные приемники и передатчики потребляют больше энергии;
- Повышается уязвимость системы передачи к сторонним помехам, то есть к сигналам, которые вырабатываются чужими устройствами.

Тогда решением лучше становится повышение коэффициента усиления антенны. Принцип такого решения заключается в концентрировании радиосигнала в определенном направлении. Таким образом, можно увеличивать расстояние между квадрокоптером и наземной станцией, но вместе с этим нужно придерживаться определенного места, чтобы не потерять сигнал [4].

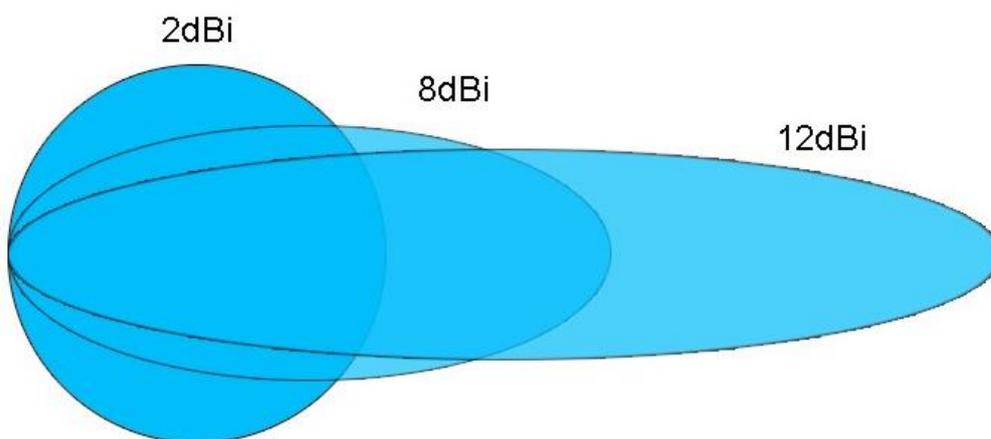


Рисунок 2.3 – Распространение волн антенны с коэффициентом усиления

2.2 Захват объекта квадрокоптером

Для облегчения задачи мониторинга, квадрокоптер и наземная станция могут быть оснащены алгоритмами глубокого изучения, которые обнаруживают и отслеживают объект.

Структура системы автоматического обнаружения и сопровождения транспортных средств показана на рисунке 2.4. Беспилотный летательный аппарат использует камеру для наблюдения за районом полета, а полученное с воздуха видео передается обратно на станцию по цепочке данных. На станции выполняется обнаружение цели на транспортном средстве на основе загруженного аэрофотоснимка. После обнаружения цели на транспортном средстве движущаяся цель отслеживается в последующих видеокдрах. Для

получения геодезических координат цели, после извлечения пиксельных координат цели, широта и долгота цели оцениваются путем объединения данных измерений положения, ориентации и угла наведения камеры беспилотного летательного аппарата, чтобы реализовать полностью автоматическое обнаружение, отслеживание, и определение местоположения транспортного средства-цели с помощью беспилотного летательного аппарата на основе технологии визуального контроля [5].

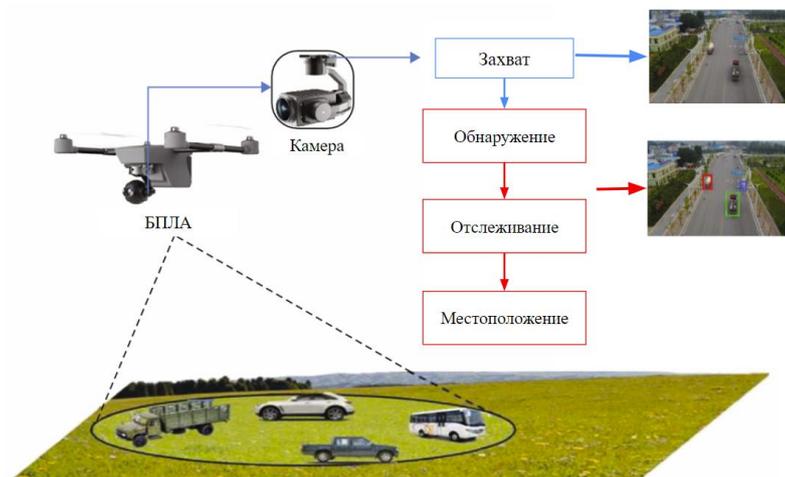


Рисунок 2.4 – Структура обнаружения объекта

2.3 Распознавание и отслеживание объекта

Первым делом камера БПЛА осуществляет захват изображения. Для выделения объектов от окружающего мира, встроенный в дрон и персональный компьютер алгоритм глубокого изучения перерабатывает изображение, далее разделяя объект от окружения. Общая структура показана на рисунке 2.5.

Методы отслеживания разделяются на два. При автономном методе БПЛА самостоятельно занимается распознаванием и отслеживанием объектов, поступающих в соответствующий модуль. При этом пользователь может заранее ввести характеристики объекта, которому квадрокоптер должен отдать предпочтение. При втором методе, пользователь знает местоположение объекта и с помощью планирования полета отправляет дрон в сторону предмета. Камера и модуль ГНСС удостоверяются в том, что БПЛА двигается в верном направлении. Если предметов несколько, обработчик занимается выделением каждого и подсказывает, кому именно дать приоритет мониторинга [6].



Рисунок 2.5 – Система отслеживания объекта

2.4 Методы обнаружения объектов БПЛА, основанный на глубоком обучении

Алгоритмы обнаружения и определения объектов делятся на двухэтапные и одноэтапные.

Сверточные нейронные сети (CNN - Convolutional Neural Network), являющейся основной для двухэтапных алгоритмов, выделяют признаки объектов на изображении и классифицируют их, затем уже определяют какие именно предметы там находятся. Точность и надежность являются главными преимуществами двухэтапных алгоритмов. Недостатком является то, что только на втором этапе осуществляется определение объекта и местности. Это требует генерации большого количества областей классификации, что снижает скорость обнаружения. Представителями двухэтапных алгоритмов обнаружения являются R-CNN, Fast R-CNN и Faster R-CNN [7].

Сверточная нейронная сеть на основе областей (R-CNN - Region Based Convolutional Neural Networks) обычно включает в себя слой, который называется слоем объединения областей интереса ROI (Region of Interest Pooling). R-CNN сначала разбивает входное изображение на несколько областей или подобластей, известных как "предложения по областям" или "области-кандидаты". Этот этап отвечает за создание набора потенциальных областей на изображении, которые, вероятно, содержат объекты. Примерно 2000 областей извлекаются из сгенерированных предложений по областям и анизотропно деформируются до согласованного размера входных данных, ожидаемого CNN (например, 224x224 пикселя). Затем они передаются через CNN для извлечения объектов. Перед искажением размер области увеличивается до нового размера, в результате чего в искаженном кадре будет 16 пикселей контекста.

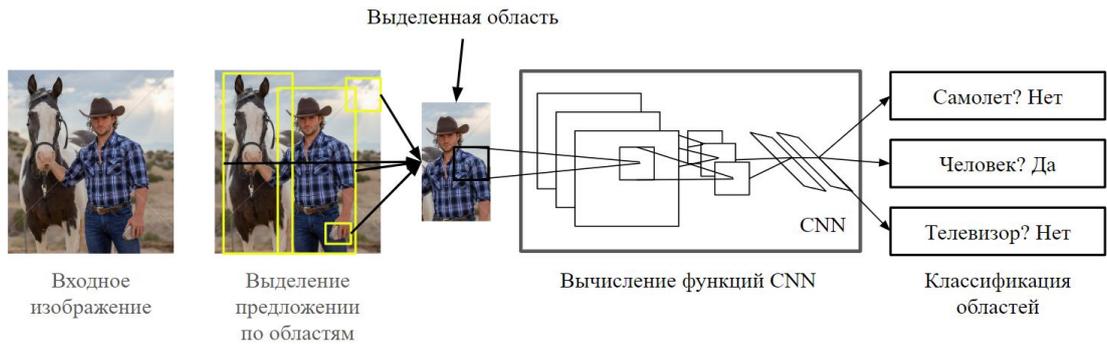


Рисунок 2.6 – Архитектура R-CNN

Генерация большого количества областей интереса занимает время, потому решением стали более быстрые варианты R-CNN, именуемые Fast R-CNN и Faster R-CNN. Fast R-CNN передает изображение в сверточную сеть, который создает свёрточную карту объектов [8].

Как говорилось, генерация областей для классификации занимает время, что в свою очередь создало потребность в создании одноэтапных алгоритмов. В отличие от двухэтапных, одноэтапные напрямую генерируют области предложений, не прибегая к процессу определения области поиска, этим в свою очередь повышают скорость работы. Недостатком является вероятность ошибочной классификации предмета. Представителями одноэтапных алгоритмов являются SSD и YOLO [7].

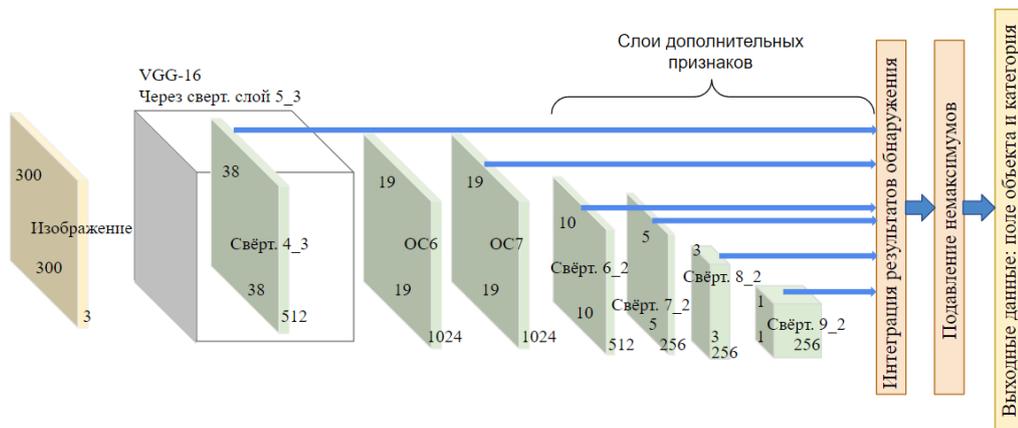


Рисунок 2.7 – Архитектура SSD

SSD и YOLO работают на основе нейронных сетей, обрабатывают изображение, выделяя геометрические признаки предметов, классифицируют их и выдают результаты. Недостатком YOLO является то, что из-за большой скорости обработки изображения, обнаружение происходит с ошибками. SSD такой проблемы не имеет. Также отличие от YOLO, SSD может определять несколько объектов в режиме реального времени [9][10].

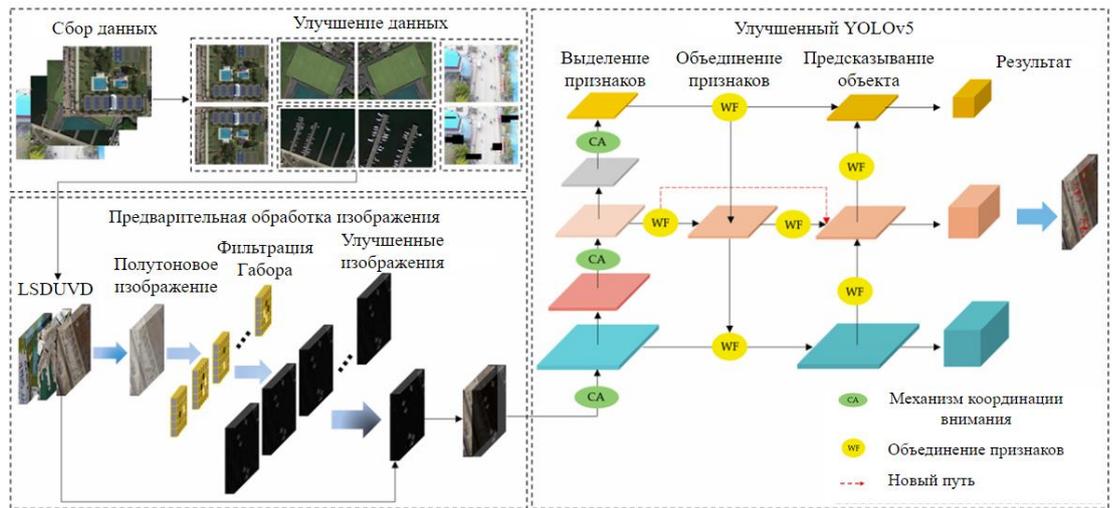


Рисунок 2.8 – Общая структура алгоритма YOLOv5

3 Система управления квадрокоптера по радиоканалу и по GPS

3.1 Система телекоммуникации

Среди систем БПЛА больше всего распространен интерфейс на радиочастотах. Интерфейс соединяет антенну к аналогово-цифровому преобразователю и полетному контроллеру. Эта система позволяет управлять устройством, передавать данные от хоста к квадрокоптеру и наоборот. БПЛА в настоящее время имеют оба канала связи: восходящие и нисходящие.

Восходящий канал использует данные спутниковой навигации, чтобы задавать и управлять движением квадрокоптера. Нисходящие же, что в военной, что в бытовой сферах, передают данные о системе БПЛА хосту. Дроны бытового назначения используют примитивную форму передачи аналогового сигнала от квадрокоптера к хосту и видео-контента к видеоприемнику.

Управление квадрокоптером по радиосигналам может осуществляться следующими методами:

1. Хост или наземная станция – это может быть пульт управления, смартфон, компьютер.
2. Сетевая система, в большинстве случаев использует данные спутников для военных целей.
3. Другой летательный аппарат, который принимает сигнал от наземной станции и передает его нужному квадрокоптеру, таким образом выполняя роль посредника [2].

3.2 Способы управления квадрокоптером

Ручное управление, как отмечалось выше, осуществляется при помощи пульта управления. Для автономного необходимо иметь персональный компьютер.

Используя переключатель, пользователь имеет возможность выбрать каким именно способом он будет управлять аппаратом. В случае выбора компьютерной программы, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) преобразует цифровой сигнал от компьютера в аналоговый, который уже принимается и передается БПЛА передатчиком радиосигнала [11].



Рисунок 3.1 – Передача сигнала от пульта и компьютера

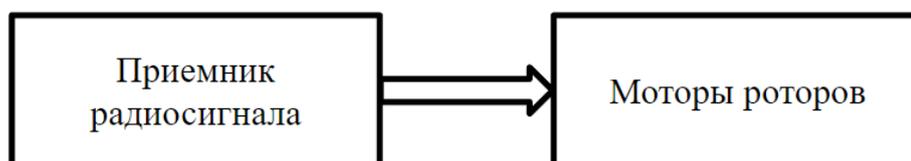


Рисунок 3.2 – Прием сигнала

3.3 Управление квадрокоптером по радиоканалу

Управление квадрокоптером может осуществляться двумя способами: ручное управление через пульт управления или автономное по заранее заданному маршруту в компьютере.

Для управления дроном с помощью пульта необходимо иметь радиопередатчик и радиоприёмник. Роль радиопередатчика заключается в интерпретации сигнала, поданные оператором на рычаги в пульте, преобразование их в цифровой, и передача на радиоприёмник БПЛА. Количество каналов, который пульт может иметь, зависит от цели применения беспилотного летательного аппарата. Главные каналы и команды это: тяга, крен, тангаж и рыскание.

Важно, чтобы частоты радиопередатчика и радиоприёмника совпадали друг с другом. Например, если радиоприёмник работает на частоте 2,4 ГГц, то и радиоприёмник должен работать на частоте 2,4 ГГц. Радиопередатчик беспилотного летательного аппарата обычно использует следующие частоты: 27 МГц, 72 МГц, 433 МГц, 900 МГц, 1,3 ГГц и 2,4 ГГц, 433 МГц, 900 МГц и 1,3 ГГц.

Радиоприёмник принимает сигналы от передатчика, передает их полетному контроллеру, он в свою очередь управляет электронными

регуляторами скорости. Радиоприемники могут иметь функцию телеметрии, то есть передавать информацию радиопередатчику [12].

3.4 Автономный полет квадрокоптера

Для автономного полета летательного аппарата важно иметь модуль GPS, который управляя местоположением дрона при помощи данных со спутников будет направлять его в нужные места.

Связи беспилотного летательного аппарата и мировых систем координат:

$$\vec{X}_{camera} = G_y G_z R_y R_x R_z T \vec{X}_{world} \quad (3.1)$$

\vec{X}_{camera} – система координат, T – матрица преобразования на основе широты, долготы и радиус действия транспортного средства, G_y, G_z, R_y, R_x, R_z – являются матрицами поворота, относящимися соответственно к углу возвышения камеры, обзора камеры, тангажа, крена и направления движения транспортного средства.

Использование спутниковых снимков, предоставленные, например, Google Maps, важно не только для построения маршрута движения, но и для предварительной оценки возможных преград, который дрон встретит по пути.



Рисунок 3.5 – Блок-схема наземной станции

Наземной станцией может служить персональный компьютер, куда установлены необходимые программы для управления квадрокоптером и для задачи направления. Пульт управления может быть подсоединен к компьютеру, тогда полетом БПЛА можно управлять с помощью него, а графический интерфейс, принимая видео контент с видеоприемника, будет показывать изображение с видеокамеры квадрокоптера.

При автономном методе управления, используются данные геоинформационной системы, GPS и программного обеспечения, разработанного для планирования маршрута. Планирование маршрута может осуществляться в глобальном и местном уровне.

Глобальное планирование маршрута предполагает использование наземной станции управления. Объединяя его и систему GPS, можно построить маршрут, запретные зоны, указать точки назначения, куда дрон должен направиться. В рисунке 3.6 указан маршрут передвижения БПЛА: а) – красными отмечены запретные зоны, зелеными – разрешенные. Белая пунктирная линия – кратчайший путь до нужной точки назначения, синяя – приемлемый маршрут. б) – зеленые точки — это пункты назначения, который БПЛА будет «навещать», белые круги – площадь, в пределах них будет считаться, что дрон достиг нужной точки.

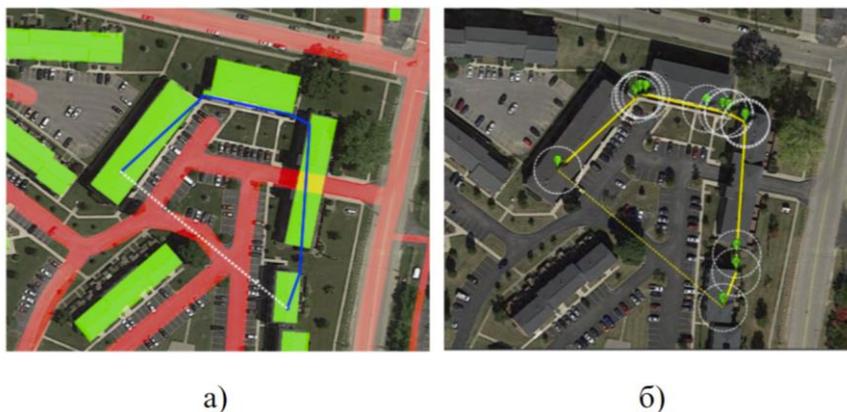


Рисунок 3.6 – Планирование маршрута.

При глобальном планировании возникает проблема того, что аппарат может столкнуться с различными объектами по пути. Для этого система должна научиться менять движение, как только камера фиксирует препятствие. Для того, чтобы летательный аппарат успешно обошел предмет, составляется Weight Maps (Карта весов), который рассчитывает скорость, местоположение и траекторию объекта.

Направление, куда квадрокоптер двинется для избежание столкновения, зависит от того, находится ли объект в зоне его полета и каким образом произойдет столкновение.

Дисперсии Σx и Σy для каждого распределения зависят от характеристик объекта. Коэффициент x пропорционален ширине объекта в пикселях, а коэффициент Σy пропорционален скорости движения объекта.

$$\Sigma y = V_{Obj} * S \quad (3.2)$$

где V_{Obj} – это текущая скорость объекта, S – запас коэффициента безопасности, которые предотвращает столкновение с объектом.

Полученное распределение поворачивается для выравнивания с траекторией объекта, нормализуется и центрируется в выбранном местоположении. Затем карта веса умножается на распределение, а не меняется

местами, чтобы сохранить глобальную информацию, основанную на окружающей среде.

$$\omega = \omega * [R \ T] * \phi \quad (3.3)$$

где ω – это Weight Map (Карта веса), $[R \ T]$ - аффинное преобразование, примененное к многомерной нормальной функции плотности вероятности ϕ для распределения издержек по ω [13].

4 Электромагнитная совместимость БПЛА в городских условиях

4.1 Влияние электромагнитных помех на систему БПЛА

В городе различные устройства, работающие на сети, создают электромагнитные помехи, которые могут отрицательно повлиять на работу систем БПЛА. Электромагнитные помехи могут быть внутренними и наружными.

Таблица 4.1. – Источники электромагнитных помех для БПЛА

Классификация ЭП	Виды ЭП
Внутренние ЭП	Атмосферный шум
	Космические лучи
	Электромагнитный импульс молнии
Наружные ЭП	Непрерывная волна (CW)
	Высотные электромагнитные импульсы (HEMP)
	Сверхширокополосный электромагнитный импульс (UWB EMP)
	Мощные СВЧ (HPM)

Электромагнитные помехи влияют на целостность систем передачи данных, управления полетом и питания.

Антенна может принимать сигналы от наземной станции, но также электромагнитные помехи. Электромагнитные помехи проникая во внутреннюю систему могут привести к сбою в работе или повреждению компонентов, в особенности усилителей и смесителей. В таблице 4.2 представлен краткий обзор существующих исследований о влиянии сильного электромагнитного излучения на системы передачи данных БПЛА.

Таблица 4.2 – Влияние электромагнитных помех на систему передачи данных БПЛА

Система передачи данных	Вид ЭП	Результат
Система передачи БПЛА	CW	Сбой в работе
Ресивер	CW	Сбой в работе
Ресивер	UWB EMP	Повреждение
Ресивер	HPM	Повреждение
Система передачи БПЛА	HPM	Сбой в работе

Наземная станция передачи данных	Разные ЭП	Сбой в работе
----------------------------------	-----------	---------------

Гироскоп, антенна GPS, магнитный компас и бортовой микрокомпьютер уязвимы помехам, что приводит к сбоям в навигации, снижению устойчивости полета и неточной передаче данных датчиков как последствия электромагнитных воздействий на систему управления полетом и навигации.

Исследователи провели многочисленные исследования влияния сильных электромагнитных помех на системы управления полетом беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), включая их воздействие на различные датчики и бортовой микрокомпьютер. В таблице 4.3 представлены результаты текущих исследований по этому вопросу.

Таблица 4.3 – Влияние электромагнитных помех на датчики

Система управления	Вид ЭП	Результат
Магнитный датчик	LEMP	Сбой в работе
Бортовой микрокомпьютер	HEMP	Сбой в работе
Магнитометр	HPM	Сбой в работе
Бортовой микрокомпьютер	HPM	Сбой в работе
Ресивер GPS	Электромагнитное поле высокого напряжения	Сбой в работе
Ресивер GPS	ЭП	Сбой в работе
Ресивер GPS	EMP	Сбой в работе
Спутниковый ресивер	CW	Сбой в работе
Модуль GPS	CW	Сбой в работе
Модуль GPS	LEMP	Повреждение
Модуль GPS	WP EMP	Повреждение
Модуль GPS	UWB EMP	Сбой в работе
Модуль GPS	HPM	Сбой в работе

Электромагнитные помехи могут проникать к компонентам летающего аппарата через микрополосковое линейное соединение на печатной плате. Если речь идет о влиянии электромагнитных помех на компоненты, больше всего страдают систему управления ШИМ и напряжение на кабеле, от такого в работе могут отказать двигатели. В таблице 4.4 представлен краткий обзор результатов текущих исследований о влиянии сильных электромагнитных помех на системы питания беспилотных летательных аппаратов [14].

Таблица 4.4 – Влияние электромагнитных помех на систему полета

Система полета	Вид ЭП	Результат
Регуляторы скорости	НРМ	Сбой в работе
Мотор	Сильное магнитное поле	Сбой в работе
Мотор, регуляторы скорости	НРМ	Повреждение
Регуляторы скорости	НРМ	Повреждение
Мотор	НРМ	Сбой в работе

4.2 Обеспечение электромагнитной совместимости БПЛА

Электромагнитная совместимость БПЛА при ситуации, когда система подвержена влиянию электромагнитных волн, осуществляется путем систем защиты компонентов. Методы защиты: технология защиты на основе поверхностных электромагнитных структур, технологии ограничения, экранирующая защита и защита от проводимости.

Частотно-селективные и энергетически-селективные поверхности – методы защиты на основе поверхностных электромагнитных структур, оба являются экранами антенн. Частотно-селективная поверхность представляет собой матричную структуру из резонансных элементов, например, металлические накладки, и суть состоит в поглощении нежелательных электромагнитных волн. Энергетически-селективная поверхность же представляет из себя электромагнитную структуру, которая преобразует волны, тем самым уменьшая их влияние на антенну.

Защита при помощи технологии ограничения включает в себе устройства радиочастотной защиты. Ими могут быть газоразрядные трубки (GDT), металлооксидные варисторы (MOV) и устройства подавления переходного напряжения (TVS). Они все ослабляют сигналы помех, с этим обеспечивая защиту компонентов.

Электромагнитное экранирование представляет собой окружение цепей устройства экранов, отражающих и поглощающих помехи. Корпус БПЛА покрывается электромагнитными экранирующими материалом, тем самым уменьшая проникновение помех внутрь система. Некоторые широко используемые материалы для изготовления корпуса беспилотного летательного аппарата включают композиты из углеродного волокна, стекловолокна и пластмассы, выбранные из-за их легких характеристик.

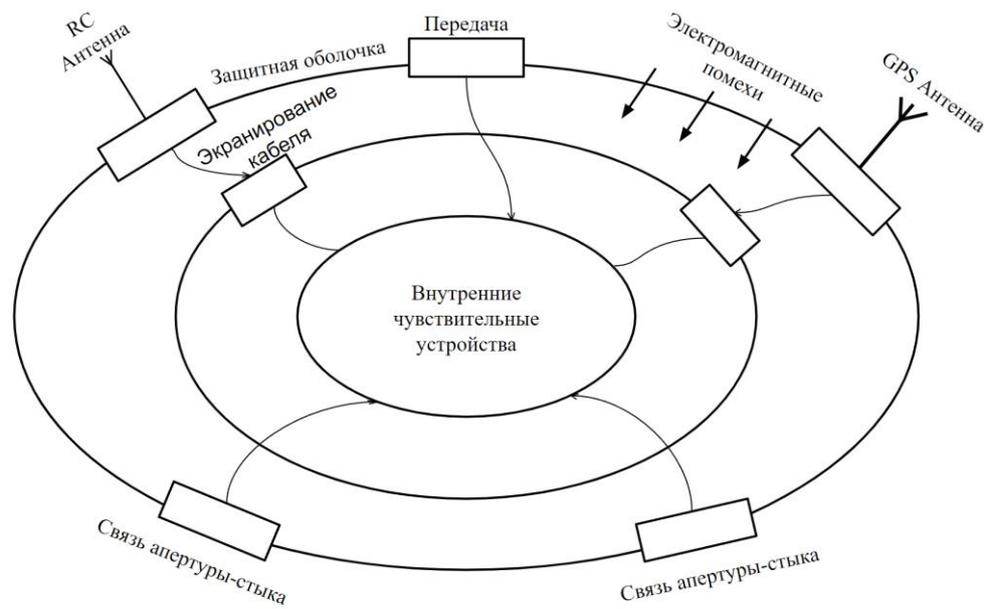


Рисунок 4.1 – Электромагнитное экранирование для БПЛА.

Ещё один способ распространения электромагнитных помех между компонентами происходит из-за кабелей, для этого между ними устанавливаются элементы нелинейных цепей, которые ограничивают напряжение или сбрасывают ток. Такой метод называется защитой от проводимости [14].

5 Применение квадрокоптера в целях мониторинга для ведомств ДЧС, МВД, КНБ

5.1 Использование квадрокоптера-монитора Министерством чрезвычайных ситуаций

Мультироторные дроны в виду своей маневренности представляют собой эффективный инструмент для осуществления наблюдений и мониторинга в тех местах, которые недоступны для человека.

- Мониторинг опасных зон;

В число опасных зон могут войти такие места, как строительные площадки и индустриальные территории. Помимо этого, дроны могут наблюдать за целостностью больших конструкций, среди которых можно перечислить мосты и трубопроводы [15].

Помимо этого, дроны могут быть использованы для мониторинга местности после бедствий для оценки масштаба ущерба и нахождения людей в этих зонах. Из недавних событий, с помощью дрона было снято видео, где продемонстрировали последствия торнадо в штате Айова, США [16].

- Поисково-спасательные работы;

В ситуациях пропажи человека в труднодоступных местах, квадрокоптеры могут служить эффективным помощником для выявления пропавшего, так как их поле зрения и точка наблюдения намного обширнее тех, что у человека. Для выявления пропавшей личности, дроны могут использовать обычные функции камеры или тепловизоры. Последние считаются наиболее эффективными, так как силуэт индивида может быть не обнаружен в местности, а тепловизоры имеют возможность отличить человека от окружающего объекта благодаря разницы в температуре. Помимо выявления пропавшей личности, дроны обеспечивают спасателей изображениями местности, что позволяет людям построить маршрут до самого человека [17].

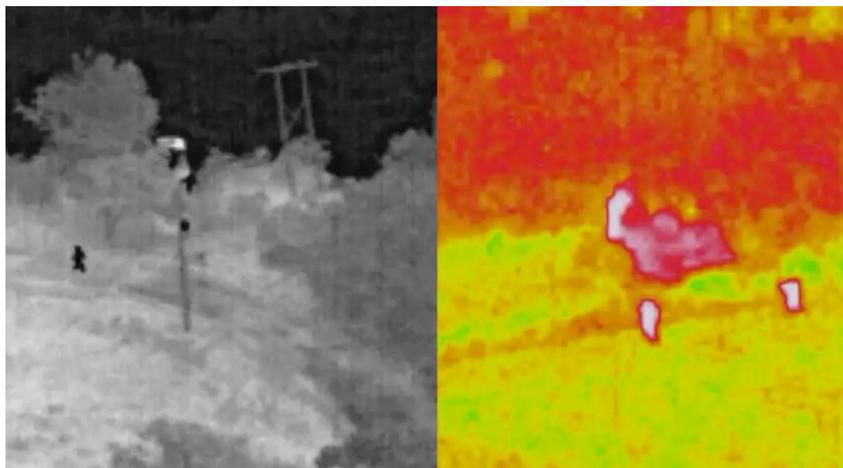


Рисунок 5.1 – Использование тепловизора для выявления человека

Одним из примеров использования квадрокоптера для поиска пропавшего человека является случай в округе Бьютт, штат Калифорния, США. Дрон пролетел над затонувшим регионом к востоку от города Чико и нашел человека, застрявшего в своем грузовике в воде [18].

- Обнаружение пожаров.

Оснащенные тепловизорами дроны могут быстрее людей обнаруживать очаги возгорания, а изображение окружающей обстановки позволяет пожарным координировать действия по ликвидации огня и эвакуации людей по наиболее безопасному маршруту [19].

В 2018 году в лесу около города Хехинген, Германия, произошел пожар. Пожарная служба использовала квадрокоптер для сбора данных об очаге [20].

5.2 Использование квадрокоптера-монитора Министерством внутренних дел

Правильное применение БПЛА службами МВД может повлиять на уровень безопасности граждан. Вот примеры как МВД может пользоваться дронами:

- Фиксация дорожно-транспортного происшествия;

До прибытия полицейских, дроны могут быстрее дойти до места происшествия и сделать захват изображения ДТП. Некоторые дроны могут воссоздать сцену в трехмерной модели, к которой служащие правоохранительных органов могут получить доступ для анализа ситуации.

- Предварительная разведка местности;

Полицейские службы могут сделать предварительную разведку опасного места для изучения ходов и выходов здания, слежки за выходящими и входящими в здание индивидами, фиксация попыток преступников замаскироваться при выходе и так далее. Один из таких случаев произошел в Аламиде, штат Калифорния. Дрон помог полиции выследить и поймать наркоторговцев и их укрытие.

Помимо преступников, с помощью беспилотного летательного аппарата можно также найти заложника внутри здания, нацелив камеру дрона в доступное окно.

- Осмотр места происшествия;

Если люди могут внимательнее осмотреть место в пределах границ места происшествия, квадрокоптер может им предоставить обстановку с высоты, чем поможет служащим обнаружить зацепки вне поле места [16].

- Контроль толпы;

Необходимость в контроле количества людей в определенной местности возникает при проведении масштабных мероприятий. Причиной этому становится вероятность появления опасных происшествий, угрожающих здоровью, а то и жизни, людей. Алгоритмы глубокого изучения при правильном

обеспечении набора данных могут наблюдать за количеством людей в местности, что может упростить задачу патруля [21].

- Мониторинг дорожного движения.

Целью использования дрона для наблюдения за движением транспорта в дороге является выявление проблемных мест, оценки уровня дорожного затора и, как говорилось выше, фиксация происшествий. В отличие от камер в фиксированных местах, дроны могут отследить начало и конец затора, позволяя сделать анализ участка [22].

5.3 Использование квадрокоптера-монитора Комитетом национальной безопасности

Дроны в настоящее время могут быть в пользовании не только в вопросах безопасности города, но также в безопасности страны. Примеры:

- Разведывательная операция;

При масштабных операциях, к примеру поиск и поимка членов террористических групп, дроны можно использовать как маленького летающего разведчика, готового предоставить информацию о месте: входы, выходы, слабые места, расположение противников и так далее. Если БПЛА обеспечивает изображения в реальном времени, то сценарии, при котором его собьют, не станет большим препятствием в разведке.

- Мониторинг границ государства.

Так как дроны дают масштабное изображение местности, выявление незаконного пресечения границ не будет тяжелой задачей. Оснащенный правильными алгоритмами БПЛА сообщит "операторам" о лишних движениях.

В случае морских границ, квадрокоптер выявляет новый транспорт и также сообщает о нем нужным лицам [23].

25 июля 2020 года гражданин Кыргызстан, находящийся в своей стране в розыске, был обнаружен на границе Казахстана благодаря беспилотному летательному аппарату [24].

6 Исследование квадрокоптера для мониторинга

6.1 Математическая модель квадрокоптера

На основе схематичного движения квадрокоптера, указанного в рисунке 6.1, можно получить его математическую модель [2].

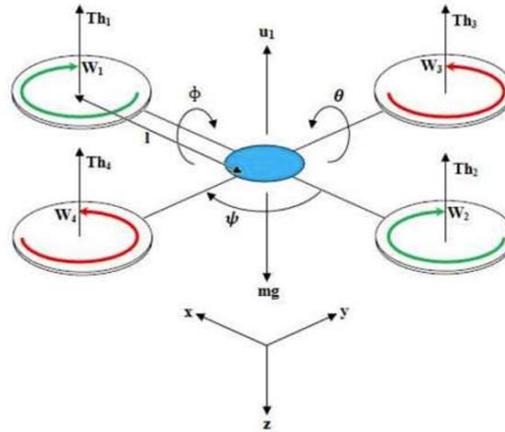


Рисунок 6.1 – Схематичное движение квадрокоптера

U_1 – сумма тяг всех двигателей, $T_1 T_2 T_2 T_4$ – тяги создаваемые передним, задним, правым и левым двигателями; m – масса квадрокоптера; g – ускорение свободного падения; l - половина длины квадрокоптера; θ, ψ, ϕ – три угла Эйлера: собой тангаж, крен, рыскание.

Динамика квадрокоптера, которая поднимается на поставленную высоту:

$$R_{xyz} = \begin{bmatrix} C\phi C\theta & C\phi S\theta S\psi - S\theta C\psi & C\phi S\theta C\psi + S\phi S\psi \\ C\phi S\theta & S\phi S\theta S\psi - C\theta C\psi & S\phi S\theta C\psi - C\phi S\psi \\ -S\theta & C\theta S\psi & C\theta C\psi \end{bmatrix} \quad (6.1)$$

где R – матричное преобразование;

$S_\theta = \sin(\theta)$; $S_\psi = \sin(\psi)$; $S_\phi = \sin(\phi)$;

$C_\theta = \cos(\theta)$; $C_\phi = \cos(\phi)$; $C_\psi = \cos(\psi)$.

Уравнение движения квадрокоптера:

$$x = u_1 (\cos\phi \sin\theta \cos\psi + \sin\phi \sin\theta) - K_1 \frac{\dot{x}}{m} \quad (6.2)$$

$$y = u_1 (\sin\phi \sin\theta \cos\psi + \cos\phi \sin\theta) - K_2 \frac{\dot{y}}{m} \quad (6.3)$$

$$z = u_1 (\cos\phi \cos\psi) - g - K_3 \frac{\dot{z}}{m} \quad (6.4)$$

где K_i – коэффициент лобового сопротивления.

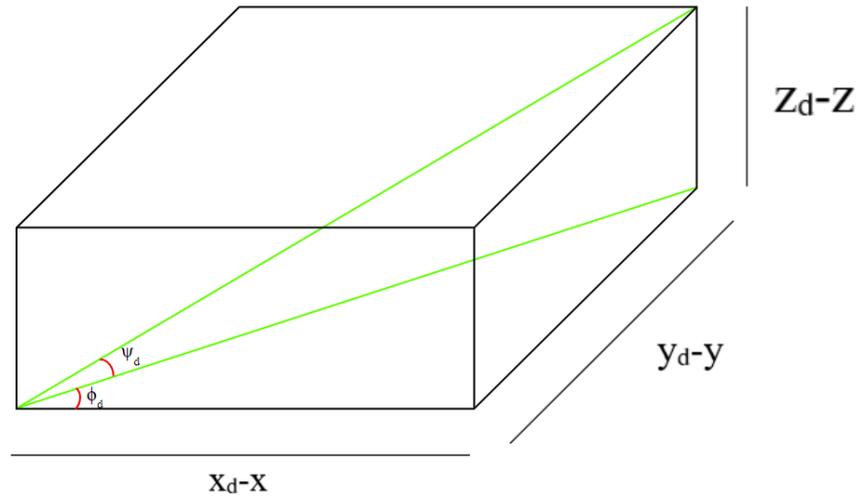


Рисунок 6.2 – Угловое движение

Угол ϕ_d :

$$\phi_d = \tan^{-1} \left(\frac{y_d - y}{x_d - x} \right) \quad (6.5)$$

Угол ψ_d :

$$\psi_d = \tan^{-1} \left(\frac{x_d - x}{\sqrt{(x_d - x)^2 + (y_d - y)^2}} \right) \quad (6.6)$$

Четыре регулятора силы U_1 , U_2 , U_3 и U_4 воздействуют на разные стороны квадрокоптера: на направление квадрокоптера влияет U_1 , U_2 – на угол поворота по крену, U_3 – угол тангажа, U_4 – угол рыскания [2].

$$U = \begin{cases} U_1 = (T_1 + T_2 + T_3 + T_4)/m \\ U_2 = 1(-T_1 - T_2 + T_3 + T_4)/I_1 \\ U_3 = 1(-T_1 + T_2 + T_3 - T_4)/I_2 \\ U_4 = 1(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)/I_3 \end{cases} \quad (6.7)$$

где T_{hi} – тяга всех двигателей;

I_i – момент инерции относительно осей [27].

Вторые производные углов:

$$\ddot{\theta} = U_2 - \frac{1K_4\dot{\theta}}{I_2} \quad (6.8)$$

$$\ddot{\psi} = U_3 - \frac{1K_5\dot{\psi}}{I_2} \quad (6.9)$$

$$\ddot{\phi} = U_1 - \frac{1K_6\dot{\phi}}{I_3} \quad (6.10)$$

6.2 Исследование существующего квадрокоптера для мониторинга

Для исследования выбран квадрокоптер DJI Mavic 2 Enterprise Advanced.

DJI Mavic 2 Enterprise Advanced – профессиональный дрон для мониторинга, оснащённый камерой и тепловизором. Термальная камера выдает точные координаты объектов, а модуль RTK позволяет получать точность позиционирования и определить до 240 точек назначения. Данный БПЛА может наблюдать за пожарами, проводить поисковые операции, инспекция оборудования и мониторинг окружающей среды [25].



Рисунок 6.3 – Дрон DJI Mavic 2 Enterprise Advanced

Таблица 6.1 – Характеристики DJI Mavic 2 Enterprise Advanced

Максимальная взлетная масса	1100 г
Размер по диагонали без пропеллеров	354 мм
Размеры в разложенном виде	322×242×84 мм
Размер в сложенном виде	214×91×84 мм
Объем внутренней памяти	24 ГБ
Максимальная скорость	72 км/ч
Максимальная высота полета	6000 м
Дальность управления	10 км
Максимальная время полета	31 минут
Диапазон рабочей температуры:	-10° до 40° C
Режим ГНСС	GPS и Глонасс
Частота передатчика	2.400-2.4835 ГГц; 5.725-5.850 ГГц

Таблица 6.2 – Пульт управления

Рабочая частота	2.400-2.483 ГГц; 5.725-5.850 ГГц
Время работы	2.5 часа
Дальность передачи сигнала:	10000 м и 6000 м
Вес	630 г
Размер	В сложенном виде: 177.5×121.3×40 мм В разложенном виде: 177.5×181×60 мм
Аккумулятор	18650 Li-Po



Рисунок 6.4 – RTK модуль



Рисунок 6.5 – Пульт управления

Таблица 6.3 – Термальная камера

Матрица	Неохлаждаемый VOx-микроболометр
Объектив	Фокусное расстояние – около 9 мм
Разрешение матрицы	640×512, 30 Гц

Шаг пикселя	12 мкм
Спектральный диапазон	8-14 мкм
Формат видео	MP4
Формат фото	R-JPEG
Цифровой зум	16×

Таблица 6.4 – Оптическая камера

Матрица	1/2 дюймов; CMOS, эффективные пиксели: 48 Мп
Объектив	84°; Диафрагма: f/2.8; Фокусное расстояние: от 1 м до ∞
Диапазон ISO	Видео: 100-12800 (auto); Фото: 100-1600 (auto)
Макс. разрешение изображения	8000×6000
Разрешение видео	3840×2160@30fps, 1920×1080, 30fps
Цифровой зум	32×
Режимы фотосъемки	Одиночная съемка; Интервальная съемка
Панорамная съемка	сферическая

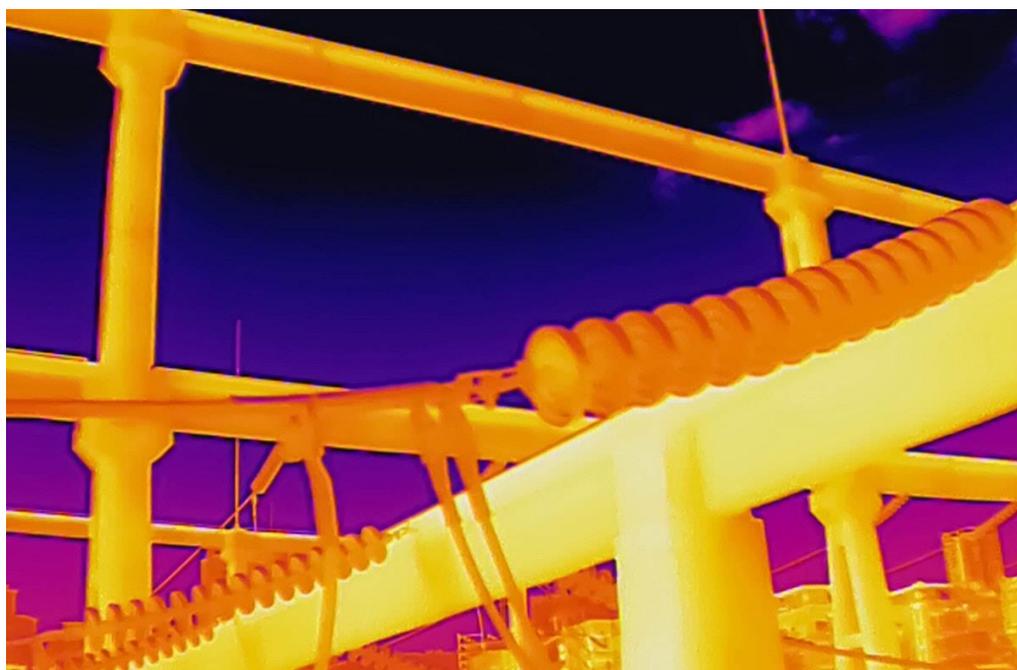


Рисунок 6.6 – Работа термальной камеры

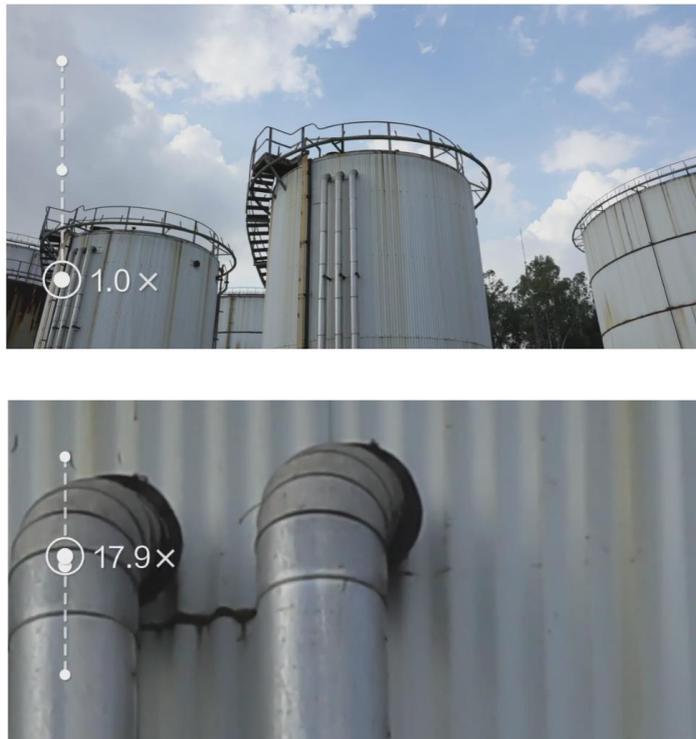


Рисунок 6.7 – Работа зума оптической камеры



Рисунок 6.8 – Одновременное изображение работы термальной и оптической камер

6.3 Динамика квадрокоптера в Matlab

Коды в MATLAB, которые определяют местоположение дрона.

1. function OS4dynamics_01_init()
2. [initX, initR] = OS4dynamics_init_state();
3. OS4physical = OS4physical_init();

```

4.   initC = OS4actuator_init(OS4physical);
5.   assignin('base', 'OS4_initX', initX);
6.   assignin('base', 'OS4_initR', initR);
7.   assignin('base', 'OS4_physical', OS4physical);
8.   assignin('base', 'OS4_initC', initC);
9.   end
10.  function [ linear, angular] = OS4dynamics_init_state()
11.  speed = [0.1 0 0];
12.  position =[0.1 0.1 -4];
13.  linear.pos = position;
14.  linear.vel = speed;
15.  linear.vinf = sqrt(speed(1)^2+speed(2)^2+speed(3)^2);
16.  %initX=[1 ;0; -0.1; 0; 0; 0];      % tail sit
17.  %initX=[2 ;0; 0.5; 0; 0; 0];      % straight & level launch
18.  roll_rate = 0;    % p
19.  pitch_rate = 0;   % q
20.  yaw_rate = 0;    % r
21.  t3 = 0;          % yaw
22.  t2 = -30*pi/180; % pitch
23.  t1 = 0;          % row
24.  q0 = sin(t1/2)*sin(t2/2)*sin(t3/2) + cos(t1/2)*cos(t2/2)*cos(t3/2); %
cos(theta/2)
25.  q1 = -cos(t1/2)*sin(t2/2)*sin(t3/2) + sin(t1/2)*cos(t2/2)*cos(t3/2); %
x sin(theta/2)
26.  q2 = sin(t1/2)*cos(t2/2)*sin(t3/2) + cos(t1/2)*sin(t2/2)*cos(t3/2); %
y sin(theta/2)
27.  q3 = -sin(t1/2)*sin(t2/2)*cos(t3/2) + cos(t1/2)*cos(t2/2)*sin(t3/2); %
z sin(theta/2)
28.  % pqr %cos 2/theta ;x sin 2/theta;y sin 2/theta; z sin 2/theta
29.  %angular=[0; 0; 0; cos(40*pi/180); 0; sin(40*pi/180); 0];      % tail sit
30.  %initR=[0; 0; 0; cos(5*pi/180); 0; sin(5*pi/180); 0];      % 10 degree
31.  angular.w = [roll_rate , pitch_rate , yaw_rate];
32.  angular.q = [q0 , q1 , q2 , q3];
33.  %clearvars speed alpha beta position
34.  %clearvars roll_rate pitch_rate yaw_rate
35.  %clearvars rho theta phi
36.  end
37.  function physical = OS4physical_init()
38.  % 2007 design and control of quadrotors with application to autonomous
39.  % flying      p.144
40.  physical.inertia.mass = 0.65;
41.  physical.inertia.Ixx = 7.5e-3;
42.  physical.inertia.Iyy = 7.5e-3;
43.  physical.inertia.Izz = 1.3e-2;

```

```

44. physical.inertia.Ixy = 0;
45. physical.inertia.Ixz = 0;
46. physical.inertia.Iyz = 0;
47. physical.inertia.Ip = 6e-5;
48. physical.prop.chord = 0.04;
49. physical.prop.rad = 0.075;
50. %physical.prop.theta0 = 0.26;    % pitch of incidence 14.9 deg
51. %physical.prop.thetatw = 0.045;  % twist pitch 2.57 deg
52. %physical.prop.thetatip = 4.4*pi/180;
53. physical.prop.thetatip = 12*pi/180;
54. physical.prop.sigma = 0.054;    % Rotor Disk solidity = Ablade/Adisk
55. physical.prop.a0 = 5.5;        % Lift slope
56. physical.size.fuselage.x = 0.08;
57. physical.size.fuselage.y = 0.08;
58. physical.size.fuselage.z = 0.07;
59. physical.size.fuselage.area      =      physical.size.fuselage.x      *
physical.size.fuselage.y;
60. al = 0.23;
61. physical.size.arm.length = al;    % arm length
62. physical.size.arm.diameter = 0.01;
63. physical.size.motor.diameter = 0.02;
64. physical.size.motor.height = 0.015;
65. physical.rotor.pos(1:3,1) = [al/sqrt(2) ; al/sqrt(2); -0.05];    % forward-
right
66. physical.rotor.pos(1:3,2) = [-al/sqrt(2);-al/sqrt(2); -0.05]; % backward-
left
67. physical.rotor.pos(1:3,3) = [al/sqrt(2) ;-al/sqrt(2); -0.05]; % forward-left
68. physical.rotor.pos(1:3,4) = [-al/sqrt(2); al/sqrt(2); -0.05]; % backward-
right
69. physical.rotor.dir = [-1, -1, 1, 1];    % -z dir (up) +z dir (down)
70. physical.downwash.tau = 0.01;
71. end
72. function controller = OS4actuator_init(OS4physical)
73. controller.rotor.omega = [2100 2100 2100 2100];
74. V_ind = 6;    % induced velocity
75. controller.propeller.lambda_0 = V_ind ./ (controller.rotor.omega .*
OS4physical.prop.rad);
76. End

```

Ниже представлена симуляция динамики квадрокоптера в MATLAB/Simulink: местоположение самого дрона, продольный вид, вид в 3D и вид сверху вниз.

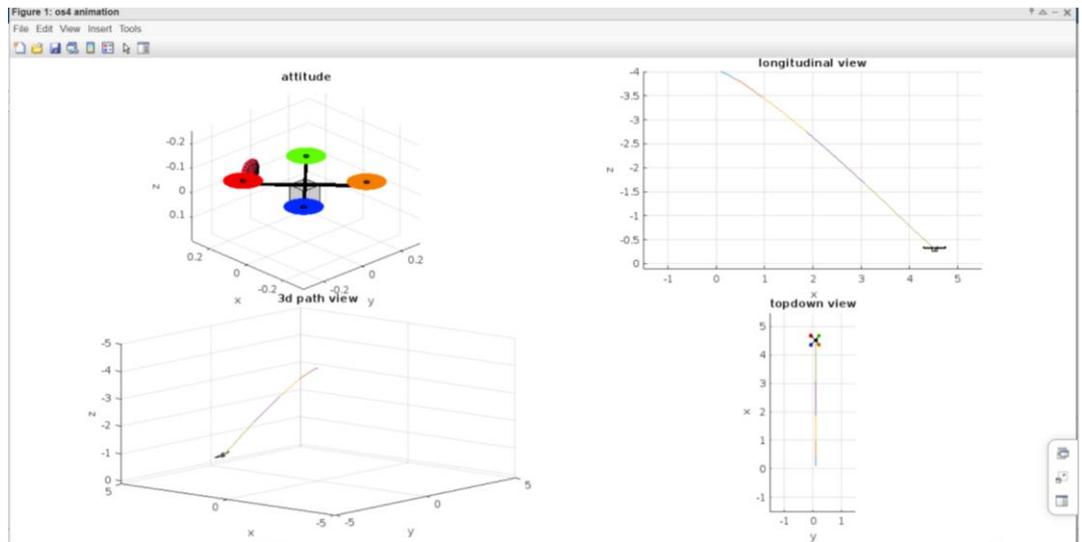


Рисунок 6.9 – Динамика квадрокоптера. Местоположение, продольный вид, вид в 3D и вид сверху вниз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе были рассмотрены система управления квадрокоптера в ручном и автономном режимах, алгоритмы распознавания объектов в целях мониторинга, виды защит БПЛА от воздействия электромагнитных помех, способы применения наблюдающего дрона государственными органами и структура квадрокоптера.

Использование четырех роторного БПЛА в целях мониторинга за объектами является обоснованным, в виду его небольшой стоимости, маневренности и небольшого веса. Применение летающего аппарата в целях поиска, наблюдения за местности и фиксации происшествий имеет большое преимущество, так как охват округа больше, чем у человека, также дрон помогает человеку найти необходимое без риска для своей жизни.

Квадрокоптер, созданный с целью наблюдения, должен быть экипирован камерой и передатчиком видеопотока. Записанное дроном видео отправляется на наземную станцию, где человек или алгоритм глубокого изучения занимается обнаруживаем и отслеживанием различных объектов.

Данный квадрокоптер может быть использован в гражданских целях у любителей, а также представителями государственных органов с целью повышения безопасности населения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антти Суомалайнен. Беспилотники: автомобили, дроны, мультикоптеры // А. Суомалайнен – М.: Издательство "ДМК Пресс", 2018. – 120 с.
2. Simon Karanja Hinga, Design and development of an Aerial Surveillance Security System. // 2021 Santa Clara University.
3. Felipe Ribas Silva De Azevedo (Author), Complete System for quadcopter control, 2014.
4. Understanding Drone FPV Live Video, Antenna Gain And Range
<https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/learn-about-uav-antenna-fpv-live-video-transmitters-receivers/>
5. Xin Liu, Zhanyue Zhang, A Vision-Based Target Detection, Tracking, and Positioning Algorithm for Unmanned Aerial Vehicle. // 2021 Wireless Communications and Mobile Computing.
6. Frederik S. Leira, Hakon Hagen Helgesen, Tor Arne Johansen, Thor I. Fossen, Object detection, recognition, and tracking from UAVs using a thermal camera. // 2020 Journal of field robotics, Volume 38, Issue 2.
7. Guangyi Tang, Jianjun Ni, Yonghao Zhao, Yang Gu, A Survey of Object Detection for UAVs Based on Deep Learning. // 2023 Remote Sensing.
8. What is R-CNN?
<https://blog.roboflow.com/what-is-r-cnn/#:~:text=Region%2Dbased%20Convolutional%20Neural%20Network,networks%20and%20region%2Dbased%20approaches.>
9. Heng Zhang, Faming Shao, Xiaohui He, Zihan Zhang, Research on Object Detection and Recognition Method for UAV Aerial Images Based on Improved YOLOv5. // 2023 College of Field Engineering, Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, China.
10. Yundong LI, Han DONG, Hongguang LI, Xueyan ZHANG, Baochang ZHANG, Zhifeng XIAO, Multi-block SSD based on small object detection for UAV railway scene surveillance. // 2020 Chinese Journal of Aeronautics, Volume 33, Issue 6.
11. Noman Shabbir, M. Jawad, Abdul Qayyum, H. M. Shakeeb Ilyas, Design & Analysis of a Low Cost GPS Based Surveillance Unmanned Aerial Vehicle (UAV). // 2014 Conference: International Conference on Engineering & Emerging Technologies (ICEET).
12. Transmitter and Receiver for Drones
<https://medium.com/@kekreaditya/transmitter-and-receiver-for-drones-1f7e8d8ea134>
13. Thomas Castelli, Aidean Sharghi, Don Harper, Alain Treméau, Autonomous navigation for low-altitude UAVs in urban areas. 2016.
14. Zhao Zhang, Yang Zhou, Yang Zhang, Baoliang Qian, Strong Electromagnetic Interference and Protection in UAVs. // 2024 College of Advanced

Interdisciplinary Studies, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China.

15. How Are Drones Used In Emergency Response?
<https://www.jouav.com/industry/emergency-response>
16. 11 ways police departments are using drones
<https://www.police1.com/police-products/police-drones/articles/11-ways-police-departments-are-using-drones-V8RZTGOKMjTbWj9Z/>
17. How Drones Are Used for Search and Rescue
<https://www.skydio.com/blog/how-to-use-drones-for-search-and-rescue#:~:text=Drones%20with%20thermal%20cameras%20are,thermal%20drone%20can%20detect%20it.>
18. How drones became a ‘game changer’ for finding missing people in California’s wilderness
<https://www.sfchronicle.com/outdoors/article/drones-search-rescue-california-18478206.php>
19. Костин Павел Игоревич, МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ ПОМОЩИ БПЛА. // 2022 ВЕСТНИК НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ № 1(121). Часть 2.
20. How Drones are Useful in Forest Fire Response
<https://www.flytbase.com/blog/drones-in-forest-fire-response>
21. Pablo Royo, ÀlexAsenjo, Juan Trujillo, Ender Çetin, Cristina Barrado, Enhancing Drones for Law Enforcement and Capacity Monitoring at Open Large Events. // 2022 Drones.
22. Drone Traffic Monitoring: The Future of Traffic Management
<https://medium.com/@pratham.sharma21/drone-traffic-monitoring-the-future-of-traffic-management-58bf4912df9>
23. Drones: The New Vanguard of National Security and Digital Transformation – Greece's Path Forward
<https://www.linkedin.com/pulse/drones-new-vanguard-national-security-digital-greeces-athanassios>
24. КНБ на границе с Казахстаном задержал с помощью дрона преступника из Кыргызстана
<https://newtimes.kz/obshchestvo/114252-knb-na-granitse-s-kazakhstanom-zaderzhal-s-pomoshchiu-drona-prestupnika-iz-kyrgyzstana>
25. Mavic 2 Enterprise Advanced
<https://enterprise.dji.com/mavic-2-enterprise-advanced>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Усманова Алмажан Ерлановна

Специальность 6В06201 – Телекоммуникация

«Система управления для квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации»

Дипломная работа построена следующим образом: введение, структура и система управления квадрокоптера для мониторинга малых объектов, и описываются принципы полета квадрокоптера, выводы, список литературы.

Использование беспилотных летательных аппаратов в целях мониторинга различных объектов и субъектов в городских условиях для ведомств Министерства чрезвычайных ситуации (МЧС), Министерства внутренних дел (МВД), Комитета национальной безопасности (КНБ) является актуальным. Различные методы глубокого обучения могут поспособствовать квадрокоптерам в мониторинге и обнаружении объектов.

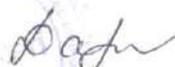
В рамках дипломной работы был проведен обзор и анализ существующих БПЛА, различных видов коптеров. В работе представлены синтез системы управления квадрокоптером, различные алгоритмы мониторинга объектов с помощью БПЛА, использование их в правоохранительных органах и обеспечение квадрокоптера защитой от электромагнитных волн в условиях городской агломерации.

Основные выводы содержатся в заключении.

Дипломная работа Усмановой Алмажан Ерлановны может быть рекомендована к защите с присвоением ей академической степени бакалавра по образовательной программе 6В06201 – «Телекоммуникация» и оценивается на оценку 95 (отлично).

Научный руководитель:
ассоц-профессор, к.т.н



 Дараев А.М.

« 29 » 05 2024 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу

Усманова Алмажан Ерлановна

Специальность 6В06201 – Телекоммуникация

На тему: «Система управления для квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации»

Выполнено:

- а) теоретическая часть на 22 листах
- б) практическая часть на 5 листах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Целью работы является исследование квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации.

Приведены были структура квадрокоптера, системы управления и обеспечение электромагнитной совместимости.

Оценка работы

Считаю, что дипломная работа выполнена на «90», а студентка Усманова Алмажан заслуживает присвоения академической степени бакалавра по специальности 6В06201 – Телекоммуникация.

**Рецензент PhD, и.о доцент
Казахского национального университета
имени аль-Фараби**

«30» 08 2024 г.



Омаров Б. С.



Усманова Алмажан



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Усманова Алмажан Ерлановна

Тақырыбы: Система управления для квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации

Жетекшісі: Абдумажит Дараев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.7

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 1

Әріптерді ауыстыру: 11

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 2

Ак белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2024-05-29

Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Усманова Алмажан Ерлановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Система управления для квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации

Научный руководитель: Абдумажит Дараев

Коэффициент Подобия 1: 2.7

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 11

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-05-29

Дата

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Усманова Алмажан Ерлановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Система управления для квадрокоптера для мониторинга малых объектов в условиях городской агломерации

Научный руководитель: Абдумажит Дараев

Коэффициент Подобия 1: 2.7

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 11

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-05-29

Дата

Сұңғат Марқсұлы

проверяющий эксперт