

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и Информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

Марченко Екатерина Михайловна

Мобильная радиомачта на основе мультироторного БПЛА

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

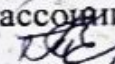
6В06201 - Телекоммуникация

Алматы 2024

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ
кандидат технических наук,
ассоциированный профессор
 Таштай Ерлан
«30» мая 2024 г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА


На тему: «Мобильная радиомачта на основе мультироторного БПЛА»

6B06201 – Телекоммуникация

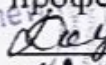
Выполнила

Марченко Е.М.

Рецензент

к.т.н, ассоц. профессор
АУЭС им. Г.Даукеева
 Байкенов А.С.
«25» мая 2024 г.

Научный руководитель
К.т.н, ассоциированный
профессор

 Дараев А.М.
«19» мая 2024 г.



Алматы 2024

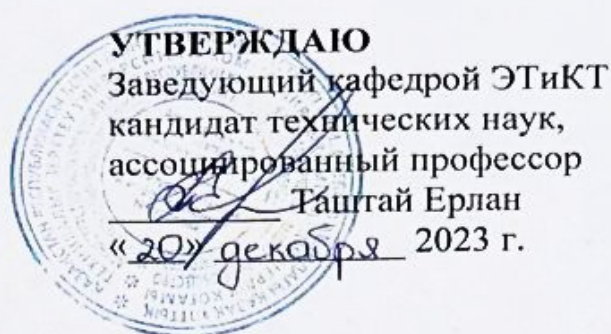
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космической технологии

6B06201 – Телекоммуникация



ЗАДАНИЕ на выполнение дипломной работы

Обучающейся Марченко Екатерине Михайловне

Тема: «Мобильная радиомачта на основе мультироторного БПЛА».

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

Срок сдачи законченной работы «30» 12 2024 г.

Исходные данные к дипломной работе: развертывание мачты на 100 м, ретранслируемые сигналы управления 2,4 ГГц.

Краткое содержание дипломной работы: введение, возможности организации связи при помощи БПЛА, система радиосвязи БПЛА, системы управления БПЛА, техническая часть создания октокоптера, заключение и список использованной литературы.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию и представлению в дипломной работе:

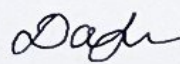
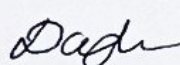
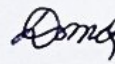
1. Анализ системы управления радиомачтой БПЛА.
2. Исследование системы управления и автоматизации полета октокоптера для радиомачты.
3. Система кабельного управления привязанного БПЛА и создание ее модели в среде MatLab/Simulink.

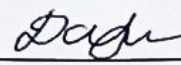
ГРАФИК
подготовки дипломной работы

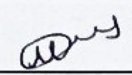
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
Анализ существующих систем мобильных радиомачт	1.09.2023-31.12.2023	Выполнено
Мультидиапазонная радиолиния связи БПЛА и система сверхточного позиционирования РТК	16.02.2024-31.03.2024	Выполнено
Системный дизайн соосного октокоптера и система привязанного БПЛА	01.04.2024- 14.04.2024	Выполнено
Разработка привязанной системы БПЛА в среде MatLab	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	
Практическая часть	Ассоциированный профессор, кандидат тех. наук Дараев А.М	29.05.2024	
Нормконтроллер	Старший преподаватель каф. ЭТиКТ, PhD. Досбаев Ж. М.,	29.05.2024	

Научный руководитель _____  Дараев А.М.

Задание приняла к исполнению обучающаяся _____  Марченко Е.М.

Дата «20» 12 2023 г.

АНДАТПА

Көп роторлы ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) қолдану жоғары деңгейге жетті. Бұл өмірдің көптеген салаларында перспективалы бағыт болып табылады. Әр түрлі квадрокоптерлер, гексакоптерлер және октокоптерлер объектілерді бақылауға, адамдарды құтқаруға, жүктерді жеткізуге, желілерді орналастыруға, өртті сөндіруге және басқа да мақсаттарға жол тапты. Ұшқышсыз ұшу аппараттарын байланыс релесі ретінде пайдалану бүгінгі таңда ең өзекті болып табылады, мұнда жер бедерінің ерекшеліктеріне байланысты немесе табиғи апаттар аймақтарында желімен қамту мүмкін емес. Бұл уақытша хабар тарату қажет болған жағдайда радио байланысын орнатудың жылдам және тиімді әдісі.

Бұл дипломдық жұмыста ұшқышсыз ұшу аппараттарының көмегімен желіні ұйымдастырудың әртүрлі тәсілдері, байланыстырылған типтегі коаксиалды октокоптер негізінде мобильді радио мачтаны әзірлеу және оны басқару ұсынылған.

АННОТАЦИЯ

Применение мультироторных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) достигло высоко уровня. Это является перспективным направлением во многих сферах жизнедеятельности. Различные квадрокоптеры, гексакоптеры и октокоптеры нашли свое применение для мониторинга объектов, спасения людей, доставки грузов, развертывания сетей, тушения пожаров и других назначений. Использование БПЛА в качестве ретрансляторов связи на сегодняшний день является наиболее актуальным, где покрытие сетью является невозможным из-за особенностей рельефа или в зонах стихийных бедствий. Это является быстрым и эффективным способом для установки радиосвязи в условиях необходимости временного вещания.

В данной дипломной работе представлены различные способы организации сети при помощи БПЛА, разработка мобильной радиомачты на основе соосного октокоптера привязанного типа и ее управление.

ANNOTATION

The use of multicopter unmanned aerial vehicles (UAVs) has reached a high level. This is a promising direction in many areas of life. Various quadcopters, hexacopters and octocopters have found their application for monitoring facilities, rescuing people, delivering goods, deploying networks, extinguishing fires and other purposes. The use of UAVs as communication repeaters is currently the most relevant where network coverage is impossible due to terrain features or in areas of natural disasters. This is a quick and

effective way to establish radio communications in conditions of the need for temporary broadcasting. This thesis presents various ways of organizing a network using UAVs, the development of a mobile radio mast based on a coaxial tethered-type octocopter and its management.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8	
1	Возможности организации связи при помощи БПЛА	9
1.1	Типы базовых станций	9
1.2	Сценарии организации мобильной связи на базе БПЛА	10
1.3	Применение мобильных радиомачт ведомствами РК	12
2	Система радиосвязи БПЛА	14
2.1	Сетевая архитектура БПЛА	14
2.2	Мультидиапазонная радиолиния БПЛА	17
3	БПЛА как ретранслятор связи	18
3.1	Основные принципы	18
3.2	Способы реализации	20
4	Системы управления БПЛА	21
4.1	Структура привязанной системы БПЛА	21
4.2	Динамика октокоптера	23
4.3	Система сверхточного позиционирования	25
5	Техническая часть создания октокоптера	27
5.1	Системный дизайн	27
5.2	Блок-схема привязанного БПЛА	31
5.3	Проектирование привязанного БПЛА в среде MatLab	32
Заключение	38	
Список использованной литературы	39	

ВВЕДЕНИЕ

Мультироторный беспилотный летательный аппарат (БПЛА) представляет собой тип дрона, который использует несколько лопастей несущего винта для создания подъемной силы. Эти беспилотники популярны благодаря своей маневренности и устойчивости, что делает их пригодными для широкого спектра применений, включая аэрофотосъемку, наблюдение, инспекцию, картографирование и доставку посылок.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) используются для связи различными способами. Их можно использовать в качестве ретрансляторов ближнего действия для обмена информацией в чрезвычайных ситуациях. БПЛА также могут выступать в качестве воздушных базовых станций в дополнение к наземным сетям сотовой связи, обеспечивая беспроводную связь с высокой вероятностью прямой видимости. В этой роли БПЛА могут устанавливать связь между отдельными подразделениями во время обучения или предоставлять услуги передачи по нисходящей линии связи для наземных пользовательских узлов. Кроме того, ячейки связи БПЛА могут использоваться совместно с узлами мобильных периферийных вычислений для генерации инструкций по управлению транспортным средством на основе полученных данных о движении транспортного средства. Ячейки сети БПЛА также могут использовать модульные коммуникационные модемы для поддержки различных стандартов связи и частотных диапазонов, обеспечивая надежную связь с ячейками наземной сети. Эти приложения подчеркивают универсальность и потенциал БПЛА в области связи.

Актуальность дипломной работы заключается в решении проблемы неполного покрытия сотовой связью, в частности труднодоступных регионах, где не представляется возможным прокладка кабеля сотовой связи или же установки базовой станции, за счет применения БПЛА.

Целью данной дипломной работы является разработка БПЛА, который оснащен ретрансляционным оборудованием связи для увеличения покрытия сети.

Главными задачами данной дипломной работы являются:

- анализ мультидиапазонной радиолинии БПЛА;
- анализ организации мобильной связи на базе БПЛА;
- анализ системы точного позиционирования RTK;
- принцип управления привязанным БПЛА.

1 Возможности организации связи при помощи БПЛА

1.1 Типы базовых станций

Базовая станция (БС) представляет собой конструкцию, на которой установлено оборудование связи для приема и передачи радиосигнала. БС является одним из важнейших компонентов беспроводной связи, благодаря которой пользователям предоставляется возможность осуществлять беспроводную связь повсеместно. Беспроводные сети поддерживают устройства различного назначения, включая мобильные телефоны, ноутбуки и устройства Интернета вещей IoT. БС в сетях беспроводной связи выступают в роли шлюза между беспроводными устройствами и инфраструктурой связи [1].

БС обычно складывается из набора аппаратных и программных компонентов, включающие в себя антенны, радиоприемники, радиопередатчики, а также программное обеспечение для управления сетью.

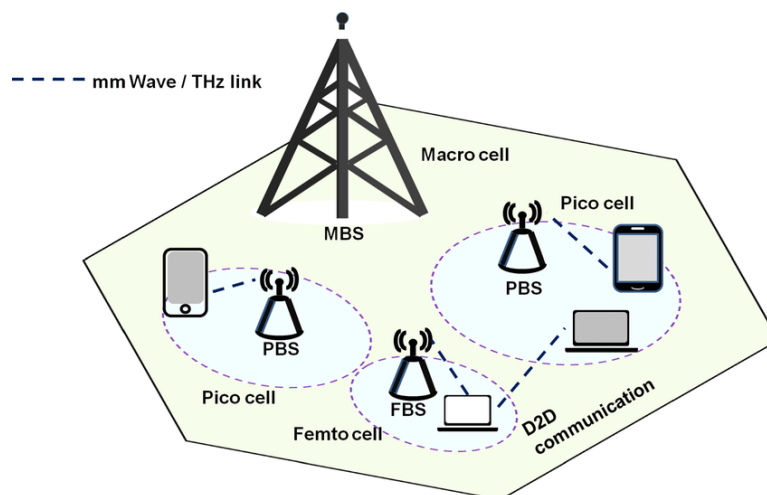


Рисунок 1.1 – Виды мобильных базовых станций

Базовые станции можно разделить на 4 основных типа: макроячейки, микроячейки, пикоячейки и фемтоячейки.

Макробазовая станция (Macro cell) представляет собой антенны, которые устанавливаются на наземных радиомачтах, крышах зданий и других конструкциях на определенной высоте для беспрепятственной передачи/приема данных. Производительность макробазовых станций напрямую зависит от эффективности приемопередатчика, так как мощность на выходе может составлять десятки Ватт. Макроячейки способны обеспечить самую большую зону покрытия, поэтому такие базовые станции чаще всего размещаются вдоль автомагистралей или в сельской

местности, где нет необходимости частого обслуживания БС в радиусе нескольких километров.

Микро-базовая станция (Micro cell) – это небольшая базовая станция сравнительно с макробазовой станцией, которая имеет меньшую зону покрытия. Зачастую такая БС устанавливается в густонаселенных регионах, например, офисные здания, торговые центры, станции метро и другие, для обеспечения более широкого охвата сигнала и пропускную способность. Микроячейки способны повысить качество и стабильность беспроводных сигналов, а также обеспечить высокую скорость передачи данных с меньшей вероятностью задержек.

Базовая станция пико (Pico cell) - это базовая станция с еще более меньшими размерами и зоной покрытия, чем микроячейка. Использование такой БС находит себя для обеспечения покрытия сети внутри различных помещений, таких как офисы, больницы, гостиницы и другие общественные места, где есть необходимость обеспечения сетью связи в условиях большой плотности абонентов. Пикоячейки обычно имеют более низкую мощность и дальность передачи данных, что способно обеспечить более стабильные и высококачественные беспроводные сигналы.

Фемто-базовая станция (Femto cell) представляет собой частную базовую станцию. Как и обычная базовая станция, такая БС подключает голосовую связь и данные сотового телефона к сети сотовой связи, но обслуживает меньшую территорию. Фемто-базовая станция наиболее эффективна с экономической точки зрения для поставщиков услуг связи, поскольку она способна разгрузить трафик БС сотовой связи. Благодаря близкому нахождению устройства связи абоненты получают хороший уровень сигнала, особенно в тех местах, где сигнал сотовой связи слабый или недоступен. Такие БС дополняют обычную сеть и воспроизводят обычную телекоммуникационную инфраструктуру. Подключение к сети сотовой связи обычно обеспечивается с помощью VoIP через Интернет.

1.2 Сценарии организации мобильной связи на базе БПЛА

На сегодняшний день БПЛА получило широкое применение в сетях связи. БПЛА могут использоваться для различных целей: ретрансляция сигнала, разгрузка трафика сотовой связи, мониторинг сетей связи и другие. Однако можно выделить два основных сценария организации мобильной связи на базе БПЛА: БПЛА в роли воздушного пользовательского оборудования связи и БПЛА в роли воздушной базовой станции.

БПЛА в роли воздушного пользовательского оборудования (ПО) (рисунок 1.2, слева) представляет собой дрон, который оснащен камерой и другими различными датчиками для мониторинга. В данном сценарии воздушное ПО сосуществует с наземными пользователями сети и использует уже существующую

инфраструктуру (например, сотовые сети) для передачи данных наземной станции с высокой надежностью, широкой пропускной способностью и меньшей задержкой по времени в зависимости от поставленных задач [2].

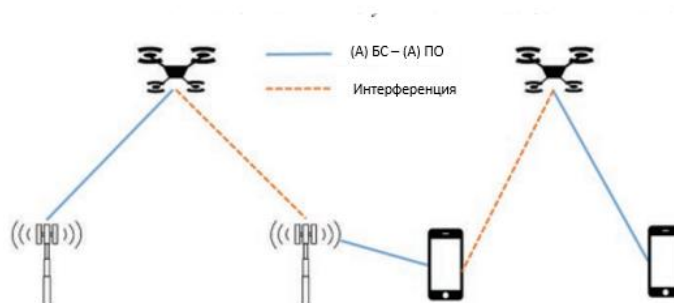


Рисунок 1.2 – БПЛА в роли воздушного ПО и воздушной БС

БПЛА в качестве воздушной базовой станции (БС) способна обеспечить энергоэффективную беспроводную связь для наземных пользователей (рисунок 1.2, справа). В качестве полезной нагрузки БПЛА выбирается оборудования связи для приема и передачи данных. Воздушная БС отличается высокой мобильностью и гибкостью, что позволяет динамически разворачивать сеть или же обеспечивать дополнительную пропускную способность при первой необходимости. Такой сценарий наиболее всего подходит для временных мероприятий, уплотнения сетей связи или же в условиях чрезвычайных ситуаций, где необходимо создание связи для вызова экстренной помощи. На воздушную БС значительно влияют помехи наземного оборудования связи, поэтому есть необходимость улучшения территориального размещения БПЛА.

В сетях беспроводной связи с поддержкой БПЛА необходимо учитывать каналы связи, конфигурации антенн, плотности БС и ПО и других параметры сети. Анализ покрытия и надежности в обоих сценариях сильно различается. На рисунке 1.4 показаны важные показатели производительности для двух сценариев [2].



Рисунок 1.4 - Важные показатели производительности для различных систем беспроводной связи на основе БПЛА

Первый сценарий нуждается в надежной связи между воздушным ПО и одной из развернутых БС на уровне крыш зданий. Одновременно с этим остальные БС могут стать значительными помехами, которые вызывают падение производительности.

Второй сценарий требует хорошей связи между всеми наземными устройствами ПО и одной воздушной БС. Условия распространения радиоволн по воздушным каналам совершенно иные по сравнению с наземными каналами. Более того, из-за вышеупомянутой разницы в высоте наземных узлов (БС и ПО) для сценариев воздушного ПО и воздушной БС существенно разнятся условия их распространения.

1.3 Применение мобильных радиомачт ведомствами РК

Во время стихийных бедствий решающее значение имеет коммуникация. Способность эффективного общения может спасти жизни множества людей. Одной из новых технологий, которая потенциально может улучшить возможности связи в таких ситуациях, являются бортовые платформы Wi-Fi. Эти платформы используют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны для обеспечения высокоскоростного доступа в Интернет в пострадавших районах.

Одним из самых больших преимуществ бортовых платформ Wi-Fi является их способность к быстрому развертыванию сети связи. БПЛА могут быть быстро запущены и доставлены в пострадавший район, обеспечивая доступ в Интернет для служб экстренного реагирования (ДЧС) и гуманитарных работников. Это может значительно улучшить возможности связи в районах, где традиционная

инфраструктура была повреждена или разрушена. Такие платформы Wi-Fi способны охватывать большую территорию, обеспечивая доступ в Интернет широкому кругу пользователей. Это может быть особенно полезно в ситуациях реагирования на стихийные бедствия, когда традиционная инфраструктура связи вышла из строя. По сравнению с традиционной коммуникационной инфраструктурой, бортовые платформы Wi-Fi могут быть экономически выгодным решением. Во многих случаях развертывание беспилотных летательных аппаратов может быть дешевле, чем восстановление традиционной инфраструктуры.

Однако неблагоприятные погодные условия могут повлиять на способность беспилотных летательных аппаратов летать и обеспечивать доступ к Wi-Fi. Сильный ветер, дождь и другие погодные условия могут затруднить полет дронов или же сделать невозможным, что ограничивает их эффективность в ситуациях, когда необходимо немедленное реагирование на стихийные бедствия. Помехи от других устройств могут повлиять на качество сигнала Wi-Fi, предоставляемого бортовыми платформами. В густонаселенных регионах или регионах с большим количеством радиочастотных помех качество сигнала может быть достаточно низким. Хотя бортовые платформы Wi-Fi и могут обеспечивать высокоскоростной доступ в Интернет, пропускная способность может быть сильно ограничена. Это напрямую связано с количеством пользователей, которые могут получить доступ к сети, и типами данных, которые могут передаваться.

Мобильные радиомачты могут быть использованы для военных целей как средство радиоэлектронной борьбы. Создание помех для радио- и радиорелейных линий связи противника может способствовать затруднению координации и управления вражеских командных сетей. Глушение радиолокационных систем может усложнить ориентирование и навигацию противника [2].

2 Система радиосвязи БПЛА

2.1 Сетевая архитектура БПЛА

На рисунке 2.1 показана общая сетевая архитектура беспроводной связи с БПЛА, которая состоит из двух основных типов каналов связи, а именно связь без полезной нагрузки и канала передачи данных.

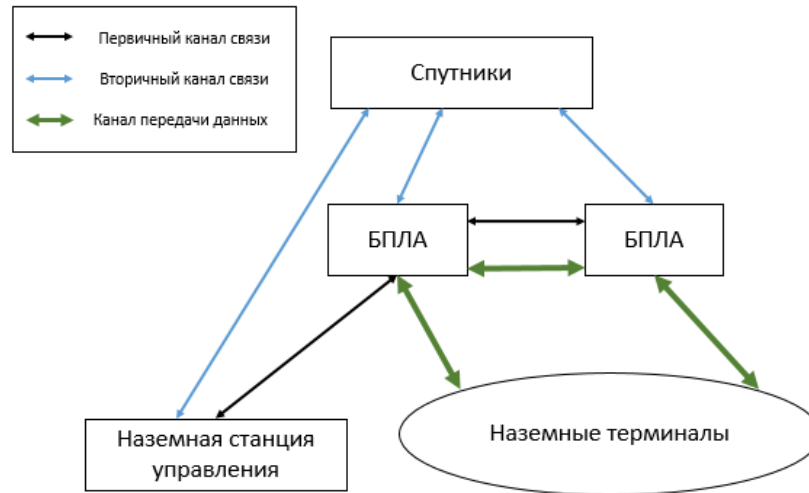


Рисунок 2.1 – Общая сетевая архитектура БПЛА

Линии связи без полезной нагрузки необходимы для обеспечения безопасного использования всех возможных БПЛА. Эти каналы должны поддерживать высоконадежную, с меньшим количеством задержек и безопасную двустороннюю связь, чаще всего требующую низкую скорость передачи данных, для обмена важной информацией между БПЛА, а также между БПЛА и землей.

Основной информационный поток связи без полезной нагрузки можно разделить на 3 типа [3]:

- управление и контроль от наземной станции к БПЛА;
- отчет о состоянии БПЛА;
- обнаружение и игнорирование информации между БПЛА.

Для автономных БПЛА, которые выполняют задачи полагаясь на автоматизированную систему полета без контроля человека в реальном времени, каналы связи без полезной нагрузки также необходимы в случае, когда нужно экстренное вмешательство человека.

На рисунке 2.1 не показаны линии управления полета БПЛА, так как они необходимы лишь тогда, когда БПЛА находятся в контролируемом воздушном пространстве, например, зона аэропорта или военный объект.

Каналы связи без полезной нагрузки обычно работают в защищенном спектре. В настоящее время выделены два диапазона частот: 960-977 МГц и 5030-5091 МГц. Прямые каналы связи между наземной станцией и БПЛА практически не подвергаются задержкам, каналы связи без полезной нагрузки через спутник также могут использоваться как резервные каналы связи для большей надежности.

Одним из ключевых требований к каналу связи без полезной нагрузки является высокая безопасность. Для этого есть необходимость в применении эффективных механизмов безопасности, чтобы не допустить «фантомного контроля», где БПЛА контролируется с помощью фальшивых сигналов управления или навигации [3].

Каналы передачи данных предназначены для поддержки связи с наземными терминалами, которые в зависимости от сценариев работы, включают в себя наземные базовые станции, мобильные терминалы, шлюзовые узлы и другие. Режимы связи, поддерживаемые БПЛА:

- прямую связь с БПЛА как при разгрузке трафика БС, так и при полной неисправности БС;
- беспроводную транзитную связь БПЛА-БС;
- беспроводная транспортная связь БПЛА-БПЛА.

Пропускная способность для этих режимов связи напрямую зависит от приложений, установленных на БПЛА и может варьироваться от нескольких кбит до десятков Гбит. Каналы передачи данных БПЛА могут повторно использовать существующую полосу частот, которая необходима для конкретных задач, например, полосу частот LTE можно одновременно использовать как для покрытия сотовой связью, так и для выделения нового спектра для повышения производительности сетей связи.

2.2 Мультидиапазонная радиолиния БПЛА

На дальность полета дрона существенно влияют высота полета, высота передающей антенны или антенн станции управления, используемая частота или частотные характеристики антенны, препятствия между станцией управления и дроном, а также шум и помехи в используемых частотных диапазонах. Шум и помехи могут быть непреднамеренными (сильно перегруженный безлицензионный спектр) и преднамеренными помехами (организация помех, глушители сигналов или «радиоподавление») могут значительно ухудшить отношение сигнал/шум, что может привести к уменьшению дальности и помехам навигационным системам, таким как GPS [4].

Для обнаружения дронов на больших расстояниях система должна уметь принимать слабые Wi-Fi сигналы. Для этого необходима установка различных усилителей радиочастотного сигнала на БПЛА. На рисунке 2.2 представлена архитектура двухдиапазонного радиочастотного приемника.

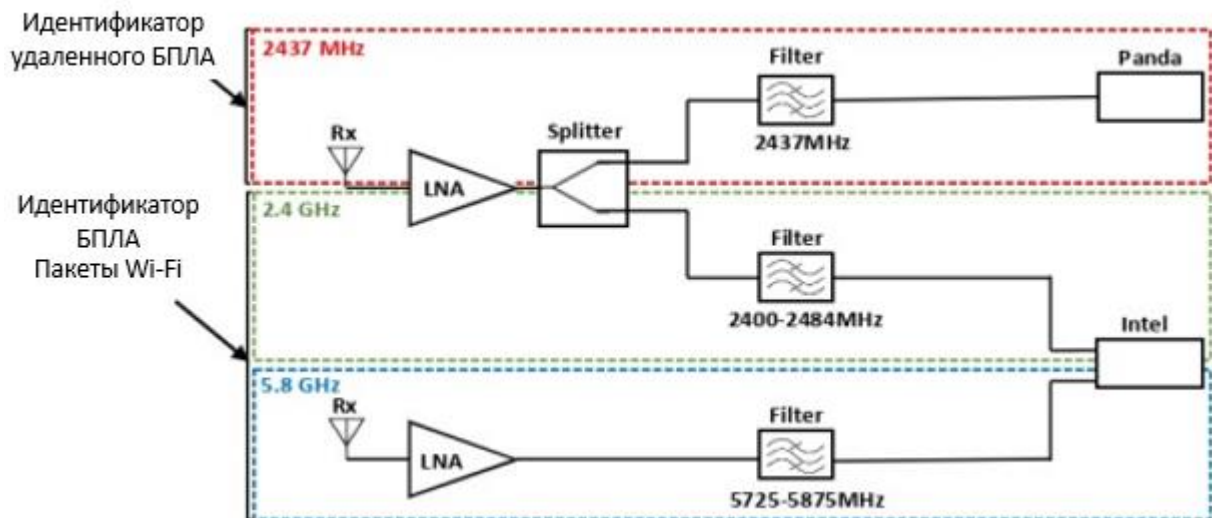


Рисунок 2.2 – Архитектура двухдиапазонного радиочастотного приемника

Карта Panda поддерживает только частоту 2,4 ГГц, что позволяет развертывать беспроводные сети на большие расстояния. Intel обрабатывает более широкий диапазон частот. Такая архитектура позволяет получать и обрабатывать сигналы различных типов и частот.

Одна антенна принимает сигналы 2,4 ГГц, а вторая антенна принимает в диапазоне 5,8 ГГц. Малошумящий усилитель LNA усиливает принятые сигналы, увеличивая отношение сигнал/шум. Сплиттер или же делитель сигнала разделяет сигнал, принятый в диапазоне 2,4 ГГц. Фильтры пропускают сигналы в определенных частотных диапазонах. Конечными обрабатывающими блоками являются Panda и Intel, которые обрабатывают сигналы на определенных частотах [5].

3 БПЛА как ретранслятор связи

3.1 Основные принципы

На рисунке 3.1 показан сценарий, в котором БПЛА действуют как ретранслятор между пользователями (помеченные как ПО) и наземной системой связи. Наземная базовая станция обозначена как БС. В выделенном регионе сотовой связи находятся мобильные пользователи, у которых отсутствует возможность использования связи, следовательно, БС находится в неисправном состоянии. Мобильные пользователи, находящиеся вдали от вышек сотовой связи, могут обслуживаться БПЛА, которые оснащены ретрансляторами. Между дронами нет проводной связи, следовательно, связь между дронами осуществляется с помощью воздушных линий связи. Связь между воздушной БС может осуществляться как централизованным, так и децентрализованным способом. Воздушная БС получает данные от наземной БС, где после приема данных от уже развернутых наземных базовых станций эти дроны могут передавать данные мобильным пользователям, которые находились без связи. В результате регион, не имеющий покрытия сигналом, получает достаточное покрытие связи. В таких случаях пользователей обслуживают воздушные БС, однако их местоположение находится вне радиуса действия основных наземных БС [5].

Использование БПЛА обеспечивает не только хорошее качество обслуживания, но и считается экономически выгодным решением. Этот сценарий особенно эффективен в случае стихийных бедствий, когда развертывание наземной сети опасно. БПЛА могут быть легко мобилизованы в любое место, где есть необходимость обеспечения необходимой линии связи в районах с плохим качеством сигнала.

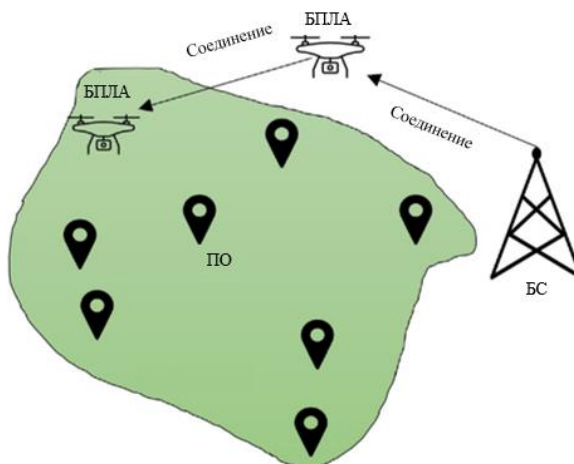


Рисунок 3.1 – Мобильный ретранслятор на основе БПЛА

В первую очередь такой ретранслятор увеличивает радиус охвата сети, пропускную способность сети, а также надежность. Это простейший сценарий, при котором для связи требуется только пара узлов-источника и узел-получатель, где достаточно и одного БПЛА для эффективной передачи данных абонентам [5].

3.2 Способы реализации

Сценарий динамической ретрансляции БПЛА изображен на рисунке 3.2, в котором задействованы наземная инфраструктура связи и несколько БПЛА. Специальный БПЛА U_0 , оснащенный различными типами датчиков способен собирать критически важную информацию в зоне выполнения задачи. U_d , называемый узлом назначения, определяет местоположение, чтобы поддерживать наземную инфраструктуру связи в зоне его передачи, а также беспроводное соединение с наземной инфраструктурой связи. Другие БПЛА называются ретрансляционными узлами, то есть от U_1 до U_n , которые используются для сбора критически важной информации в зоне выполнения задачи. Ретрансляционная сеть БПЛА определяется как сеть, которая содержит от U_1 до U_n узлы ретрансляции и беспроводные каналы связи между ними. В этом сценарии БПЛА U_0 , то есть исходный узел в этой системе, может динамически перемещаться. Это значит:

- все БПЛА движутся на фиксированной высоте H , которая может являться минимальной высотой, необходимой для обхода местности или зданий без необходимости частых взлетов или посадок;
- каждый БПЛА может получать информацию о своем местоположении и статусе полета с помощью установленных датчиков в режиме реального времени. Максимальное расстояние, на которое ретрансляционный узел может передавать данные другим БПЛА составляет d_{\max} , а максимальная скорость каждого БПЛА равна v_{\max} [6].

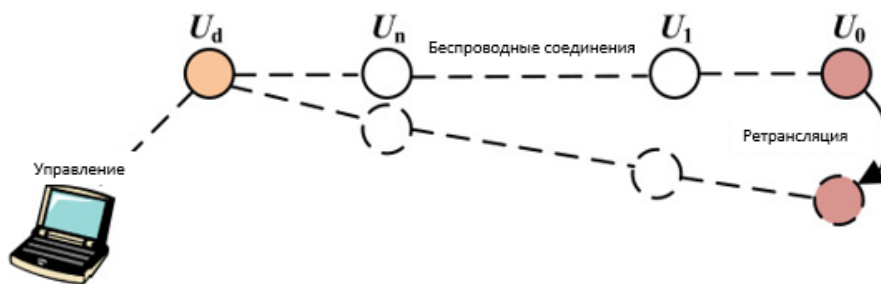


Рисунок 3.2 – Сценарии динамической ретрансляционной сети БПЛА

Простые статические методы построения ретрансляционных сетей БПЛА можно разделить на два типа: динамическую маршрутизацию на основе трека и

динамическую маршрутизацию на основе инфраструктуры. Для первого способа БПЛА U_0 имеет заранее определенный маршрут, где узлы ретрансляции развертываются вдоль трассы, чтобы гарантировать, что большинство узлов ретрансляции могут быть использованы для формирования сквозного пути от U_0 до U_d через протоколы маршрутизации. В отличие от этого, второй способ применяется в тех случаях, когда у БПЛА U_0 нет определенной маршрута, а узлы ретрансляции равномерно размещены в районе задачи, так что U_0 всегда может найти сквозной путь к U_d в любом возможном месте [6].

Если U_0 перемещается по трассе $f_i(t)$, узлы ретрансляции U_i должны быть развернуты по трассе U_0 , чтобы гарантировать возможность установления канала связи от U_0 до U_d в любое время. Количество развернутых ретрансляционных узлов n_A , может быть определено как:

$$n_A = \left\lceil \int_0^T v_0(t) dt / d_{\max} \right\rceil \quad (3.1)$$

В этом решении количество ретрансляционных узлов $G = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$, $n \leq n_A$ используются для установления сквозного пути маршрутизации между U и U_d . Однако существующие протоколы маршрутизации не могут гарантировать связь между U_0 и U_d из-за нестабильности условий беспроводной передачи и высокой мобильности БПЛА.

Если U_0 осуществляет движение по неопределенному маршруту, тогда требуется использование ретрансляционных узлов для построения канала связи с U_d . Канал передачи данных с несколькими переходами между U_0 и U_d при условии развертывания необходимого достаточного количества ретрансляционных узлов (фиксированных на позиции или зависающих вокруг точки) практически всегда присутствует. Узлы ретрансляции равномерно распределены в зоне выполнения задачи, а радиус действия связи с БПЛА равен d_{\max} . Тогда количество развернутых ретрансляционных узлов равно n_B , которые выражаются в виде:

$$n_B = \left\lceil \sqrt{2} \cdot x_{\max} / d_{\max} \right\rceil \cdot \left\lceil \sqrt{2} \cdot y_{\max} / d_{\max} \right\rceil \quad (3.2)$$

Если БПЛА U_0 подвергается многократным перемещениям со стороны в стороны в зоне выполнения задачи, а приведенное выше неравенство не выполнимо, то в этом случае модель динамической маршрутизации на основе трека является неуместной, поскольку для этого требуется развернуть большее количество ретрансляционных узлов [7].

4 Системы управления БПЛА

4.1 Структура привязанной системы БПЛА

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) – это дрон, который полностью управляется удаленно человеком или компьютером. С каждым днем находятся все более новые способы применения БПЛА, которые необходимы для выполнения различных задач, например, проверка инфраструктуры, измерение, безопасность и реагирование на стихийные бедствия. Привязанный дрон также является одним из примеров БПЛА. По сути, привязанный дрон связан с наземной станцией управления. Станция является центром управления БПЛА и дает возможность выполнять различные задачи. Существуют различные типы привязанных дронов, каждый из которых выполняет различные функции, соответствующие целям самого привязанного БПЛА. Наземная станция представляет собой сложную архитектуру и является основной проблемой при разработке БПЛА [8].

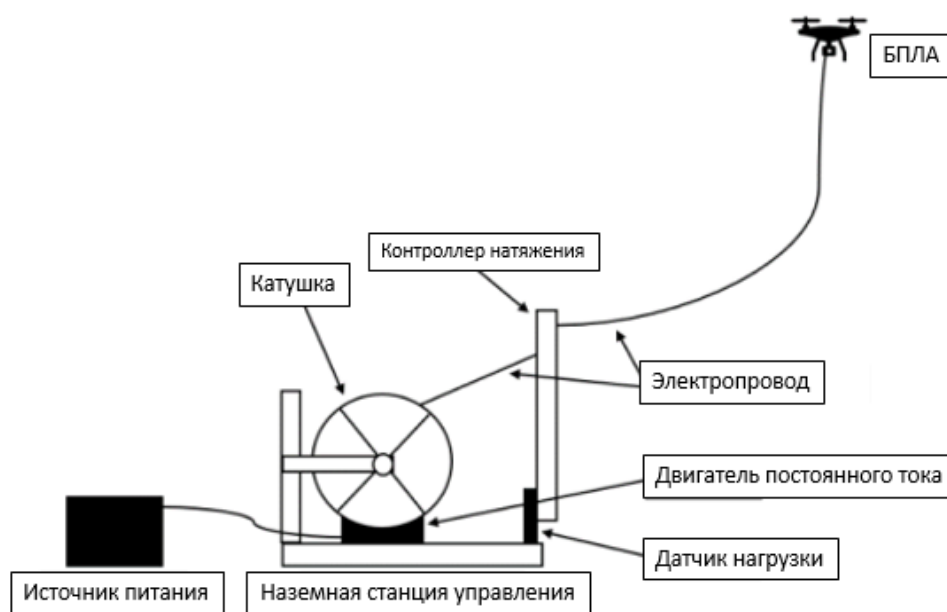


Рисунок 4.1 – Структура привязанной системы БПЛА

Применение БПЛА для мониторинга, разведки, развертывания связи требует не ограниченной работы по времени, но большинство БПЛА нуждаются в частой замене аккумуляторов. Чтобы избежать замены аккумулятора, существует система привязанного дрона, не ограничивающая время полета дрона.

Привязанная система состоит из трех компонентов: наземный силовой модуль, воздушный силовой модуль и система контроля натяжения. Силовой модуль представляет собой конструкцию, которая предназначена для привода

двигателя. Силовой модуль является центром управления системой. Разработка привязанной дрон-станции включает в себя возможность непрерывной работы дрона. Поскольку основным недостатком непривязанного дрона является ограниченность источников питания, которые зависят от небольшой емкости аккумулятора, источник питания, подаваемый от дрона через трос, является решением проблемы длительного периода полета для привязанного дрона [8].

Воздушный силовой модуль – это ток, передающийся от наземной станции к дрону. БПЛА оснащен преобразователем переменного тока в постоянный, поскольку ток изначально передается в виде переменного тока от базы, а для работоспособности дрона необходим постоянный ток. БПЛА и наземная станция соединены тросом. Трос может выполнять различные задачи, такие как постоянное питание дрона, обеспечение сети связи по линии электропередачи, стабильность полета и измерение положения БПЛА. Длина троса регулируется с помощью лебедки или катушки.

Удлинение троса сопровождается движением дрона, для это необходима установки системы, которая способна отслеживать и контролировать натяжение троса. Для привязанной дрон-станции существует автоматическое регулирование лебедки. Механизм лебедки оснащен датчиком, который отвечает за контроль движения лебедки в зависимости от требования. Поскольку движение дрона непредсказуемо, а высота расположения регулируется, длина провода способна изменяться. Реализация автоматического регулирования лебедки обеспечивает плавность движения дрона, сохраняя при этом трос в оптимальном натяжении и уменьшая риск возникновения рывков или ослабление троса, которые приводят к нарушению работы механизма. По большей части электрический провод представляет собой одножильный провод. При выборе электропривода необходимо учитывать различные характеристики, такие как материал, толщина, электропроводимость и вес.

Лебедка, контроллер натяжения и электростанция расположены на наземной станции. Наземная станция должна быть способна противостоять любым внешним факторам, например, ветру или воде. Поэтому чтобы удовлетворить эти требования, наземная станция должна быть разработана с использованием материалов, которые соответствуют требуемым на то условиям: достаточная плотность материала, тяжелый вес, антикоррозийные свойства и длительный срок службы [9].

4.2 Механизм управления привязанной станции

На рисунке 4.2 показана структура автоматического регулирования длины троса. Тензодатчик устанавливается в привод двигателя и представляет собой сенсорное устройство, которое предназначено для измерения механических напряжений или деформаций в материалах и конструкциях. Плата Arduino

контролирует скорость вращения катушки, то есть разматывание и наматывание троса. Системная оценка выполняется одновременно с USB-накопителем, который подключает Arduino к главному компьютеру. Для корректной работы системы, необходимо подключить батарею 12В [10].



Рисунок 4.2 – Система автоматического регулирования длины троса

Arduino представляют собой печатные платы, на которых используются микроконтроллеры для конструирования и программирования. В настоящее время Платы Arduino важной особенностью которых является то, что они способны распознавать информацию с устройства ввода и отправлять ее на устройство вывода, давно нашли широкое применение в двигателях постоянного тока, дисплеях и других устройствах. Arduino состоит из двух частей: аппаратного и программного обеспечения.

Тензодатчик используется в сенсорной системе дронной станции. Он подключен к плате Arduino Uno, поскольку задача обоих датчиков состоит в регулировании и отслеживании вращения лебедки. Генерируя электрический сигнал, тензодатчик способен преобразовывать силу в измеримый выходной сигнал, и тогда тензодатчик будет испытывать два состояния: сжатие и растяжение [11].

Благодаря источнику питания можно обеспечить питание дрона и привести в работу систему регулирования длины троса, расположенной на наземной станции.

Изначально наземная станция оснащена двигателем постоянного тока, поэтому для вращения двигателя требуется электроэнергия. Для этого используется переменный ток, который можно получить от электрического генератора или собственного источника электропитания. Переменный ток усиливает наземную станцию.

Система регулирования троса состоит из нескольких различных электрических компонентов, включая Arduino Uno, двигатель постоянного тока, контроллер двигателя, тензодатчик, жидкокристаллический дисплей и усилитель. Система работает на литий-ионной аккумуляторной батарее напряжением 12В. Аккумулятор подключается к двигателю постоянного тока и Arduino Uno.

4.3 Динамика октокоптера

Чтобы иметь возможность разработать систему управления, необходимо знать, как работает физическое устройство и какие данные можно с него считывать. Даже в автономных системах, где используется адаптивный контроллер, следует знать, как минимум, какие данные считываются, какие исполнительные механизмы имеются в системе и какие сигналы контроллер должен подавать системе [12].

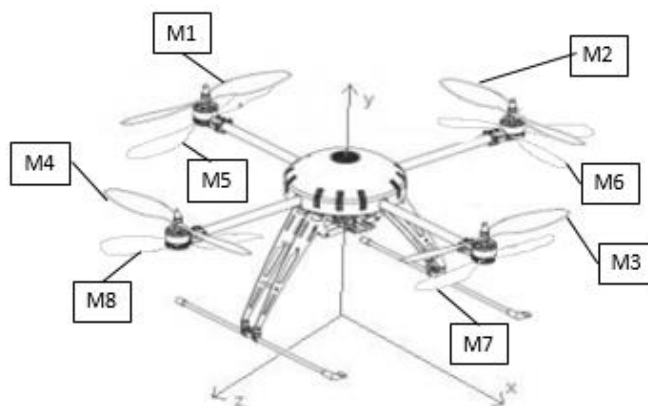


Рисунок 4.3 – Соосный октокоптер

На рисунке 4.3 представлен соосный октокоптер. Он состоит из трех основных компонентов: корпуса, встроенной электронной системы и роторов. Под системой встроенной электроники подразумевается все электронные компоненты летающего объекта, за исключением роторов, которые являются переходом от электроники к механике. Корпус — это основная структура, которая удерживает все, и в основном состоит из двух перпендикулярных стержней (в форме креста), объединенных внутри центрального ядра. Эта конструкция обычно симметрична и максимально легка для экономии энергии во время полета, и ее должно быть

достаточно, чтобы удерживать остальные компоненты. Некоторые модели также могут быть усилены защитными конструкциями, чтобы избежать повреждений, улучшить распределение массы или облегчить взлет и посадку. Следует отметить, что для полной летной системы могут потребоваться внешние компоненты, такие как радиоуправление [13].

Концепция окто-коаксиального или коаксиального октокоптера аналогична концепции квадрокоптера. На рисунке 4.4 представлена конфигурация соосного октокоптера. Дрон имеет 8 двигателей, которые расположились на четырех осях с противоположным направлением вращения верхней и нижней пары роторов. Такое расположение компенсирует возникающий крутящий момент из-за аэродинамического сопротивления. Однако, эта конфигурация менее эффективна, чем стандартный октокоптер [13].

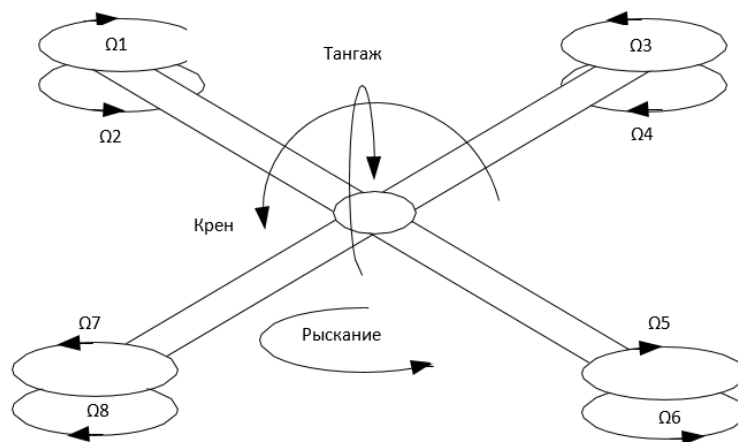


Рисунок 4.4 – Конфигурация соосного октокоптера

К достоинствам соосного октокоптера можно отнести более стабильный спуск, большее сопротивление против ветра, более легкий и избыточный в сравнении с обычным октокоптером.

Управление полетом БПЛА осуществляется за счет крена, тангажа и рыскания. Для получения положительного угла крена необходимо уменьшить скорость двигателя $\Omega_3, \Omega_4, \Omega_5, \Omega_6$ и одновременно увеличить другие. В то время как для создания положительного угла тангажа двигатели $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4$ необходимо уменьшать и увеличивать в сравнении с другими. Для положительного угла рыскания двигатель с таким же положительным направлением должен быть быстрее остальных. Учитывая, что конфигурация октокоптера аналогична квадрокоптеру, кинематику в корпусе кузова можно описать крен, тангаж и рыскание как $\vartheta = (\phi, \theta, \Psi)^T$ и угловые скорости $\vartheta' = (\phi', \theta', \Psi')^T$, а положение и

скорость в инерциальной системе отсчета как $x = (x, y, z)^T$ и $x' = (x', y', z')^T$. Вектор скорости ω в фиксированной системе отсчета тела можно выразить как [13]:

$$\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin\theta \\ 0 & \cos\phi & \cos\theta\sin\phi \\ 0 & -\sin\theta & \cos\phi\sin\theta \end{bmatrix} \vartheta' \quad (4.1)$$

Связь между телом и инерциальной системой отсчета может быть получена с помощью матрицы вращения R , которая получена из соглашений об углах Эйлера ZYZ и может быть описана как:

$$R = \begin{bmatrix} c\phi c\psi & c\psi s\theta s\phi - c\phi s\psi & s\phi s\psi + c\phi c\psi s\theta \\ c\theta s\psi & c\phi c\psi + s\theta s\phi s\psi & c\phi s\theta s\psi - c\psi s\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix}, \quad (4.2)$$

где c и s – функции \cos и \sin .

4.4 Система сверхточного позиционирования

Кинематика в реальном времени (RTK) — это технология позиционирования, основанная на измерениях разности фаз несущей GNSS, которая сочетает в себе беспроводную передачу данных для достижения динамического позиционирования на уровне сантиметра в реальном времени. Как показано на рисунке 4.5, технология RTK-позиционирования состоит из 4 основных компонентов: спутники, базовые станции, мобильная станция и канал передачи данных.

Принцип позиционирования RTK заключается в том, что спутниковый приемник на базовой станции и мобильная станция одновременно принимают сигналы от нескольких спутников, и в то же время базовая станция отправляет полученные спутниковые измерения и известные координаты станции на мобильную станцию через канал передачи данных. Мобильная станция определяет свое положение посредством дифференциальной обработки измерений базовой станции и своих собственных [14].

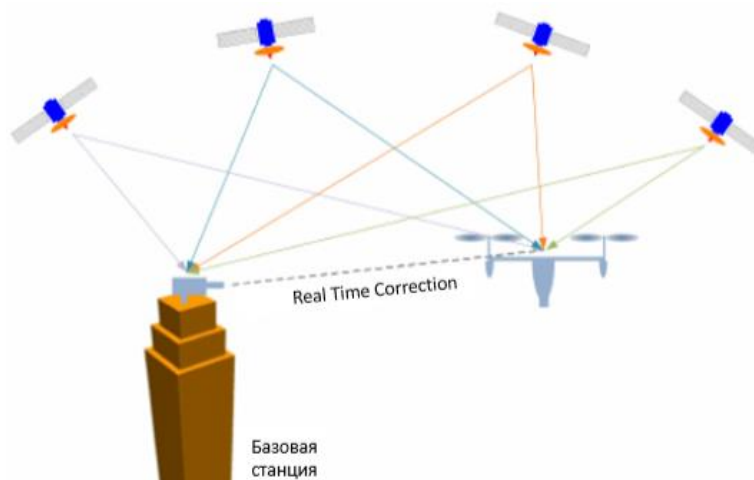


Рисунок 4.5 – Концепция RTK

Система сверхточного позиционирования занимается мгновенным положением по осям x , y и z , а также углов пространственного положения, как показано на рисунке 4.4. Поскольку устройства GPS имеют большую погрешность в пределах нескольких метров, их трудно использовать для точного позиционирования БПЛА. Для этого один GPS устанавливается на базовой станции, а другой на БПЛА. RTK-GPS усиливает обычный GPS, что позволяет достичь точное определение местоположения до 1-3 см в случае более качественно реализации. Позиция RTK имеет точное местоположение за счет усреднения ее местоположения за 12-18 часов или используется съемочное местоположение. Вычислительное положение GPS сравнивается с известным положением базовой станции. Другие приемники получают известные и рассчитанные разности положений и используют эту поправку для расчета своего положения. Базовая станция системы RTK отправляет фазу передаваемого сигнала, полученного станцией на БПЛА, чтобы БПЛА мог связать зеркальную классификацию радиофазы от базовой станции с системой распространения радиоволн.

Объединение данных нескольких датчиков сосредоточено на высокой точности оценки положения и ориентации БПЛА в реальном времени. Датчики акселерометра, магнитометра и гироскопа объединены для оценки углов ориентации. На рисунке 4.6 изображена схема объединения датчиков.



Рисунок 4.6 – Объединение датчиков инерциальной системы БПЛА для RTK

Основой концепции является фильтр Кальмана. Модель процесса имеет набор параметров для каждого положения состояния БПЛА, скорости и углов ориентации на каждом временном этапе. Измерение силы и угловой скорости вводится в модель процесса. Удельная сила – это не реальная сила, а другая форма ускорения. Это походит на работу акселерометра, которая заключается в разнице между ускорением, которое вызвано действием силы тяжести, и ускорением, вызванным импульсом [14].

5 Техническая часть создания октокоптера

5.1 Системный дизайн



Рисунок 5.1 – Модель соосного октокоптера

Разработанная система представляет собой БПЛА, типа соосный октокоптер, предназначенный для ретрансляции сигнала между наземной базовой станцией и абонентом.

В качестве рамы выбрана складная рама, которая обеспечивает легкость транспортировки, хранение, при этом не уступает в прочности и надежности других рам.



Рисунок 5.2 – Складная рама

Каждый воздушный винт изготовлен из углеродного волокна (карбона). Такие воздушные винты обладают улучшенной аэродинамической формой и отличным балансом, что обеспечивает стабильную работу октокоптера.



Рисунок 5.3 – Карбоновые винты для БПЛА

В отсеке полезной нагрузки расположились: радиомодуль и модуль RTK.



Рисунок 5.4 – Радиомодуль

Радиомодуль имеет легкий вес и компактность. Устанавливается на привязанном БПЛА для обеспечения круглосуточной беспроводной связи во время чрезвычайных ситуаций.

Характеристики:

Частота – 2400-2483 МГц;

Радиочастотная мощность: 23 дБм;

Каналы: 16;

Радиус покрытия ≥ 30 км при развертывании на привязанном БПЛА в воздухе на высоте 100 метров над землей;

Габариты – 70×20×33 мм;

Вес – 36 г;

Усиление антенны: 3 дБи;
Потребляемая мощность: 0,7 В;
Входная мощность: 5 – 8,4 В;
Рабочая температура: от -10 °С до +55 °С.
Модуль RTK (Real Time Kinematic)



Рисунок 5.5 – Модуль RTK

Модуль RTK устанавливается с целью обеспечения точного позиционирования при выполнении сложных миссий, особенно в условиях плохой видимости.

Характеристики:

Габариты – 50.2×40.2×66.2 мм;

Вес – 24 г;

Мощность – 1.2 Вт;

Точность позиционирования: по горизонтали - 1 см + 1 мм/см; по вертикали – 1.5 см + 1 мм/см.

В модели привязанного БПЛА используется бесколлекторный двигатель Tarot 4114/320kv. Для соосного октокоптера их количество составляет 8.



Рисунок 5.6 – Tarot 4114/320kv

Характеристика:

Диаметр стартера – 41 мм;

Толщина стартера – 14 мм;

Количество оборотов/В – 320;

Ток холостого хода – 0,5 А;

Максимальная мощность – 550 Вт;

Вес – 145 г.

Электронный регулятор скорости – это устройство, предназначенное для регулирования скорости и направления вращения двигателя. Регулятор скорости подключается к каналу управления дроссельной заслонкой приемника.



Рисунок 5.7 – Контроллер скорости

Характеристики:

Постоянный ток – 60 А;

Пиковый ток – 80 А;

Размер - 70×32×17 мм;

Вес – 61 г;

Тип двигателя – бесколлекторный.

5.2 Блок-схема привязанного БПЛА

На рисунке 5.8 представлена блок-схема единой привязанной системы дрона, где X_D — координаты дрона, F_T — сила троса, X_S — сжатие пружины, T — крутящий момент, приложенный к лебедке, и θ — угол лебедки.

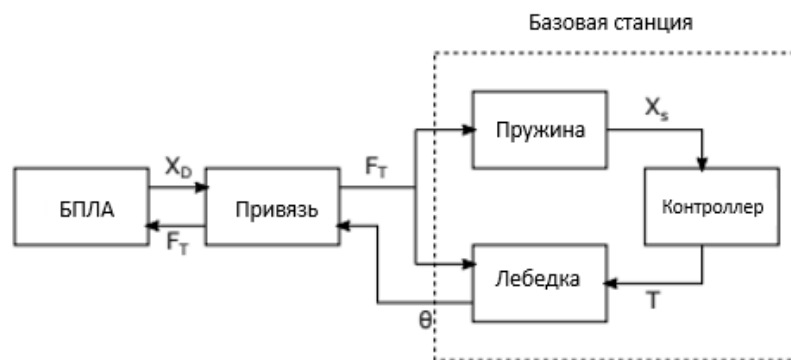


Рисунок 5.8 – Блок-схема привязанной системы БПЛА

Основная задача лебедки — наматывать и разматывать трос, реагируя на движение БПЛА. Натянутый трос может вызвать ненужную тягу, уводя дрон с траектории, в то время как слишком может привести к перенапряжению и потере работоспособности системы. [15].

Для решения этой задачи на базовой станции установлена пружина, а на ее конце установлен датчик положения. Когда трос слишком натянут, пружина сжимается, а ослабленный трос возвращает пружину в положение равновесия.

5.3 Проектирование привязанного БПЛА в среде MatLab

Систему постоянного висения в воздухе БПЛА можно представить в виде интеграла, рассчитанный за модулируемое время от некоторых издержек производительности.

$$J = \int_0^{t_f} \sum P_c^2 dt, \quad (5.1)$$

где t_f — время окончания моделирования;

P_c — производительность БПЛА.

Первая и самая важная цель, которую необходимо достичь, заключается в том, чтобы дрон следовал своему ориентиру настолько свободно, насколько это возможно. Это достигается за счет максимально возможного предотвращения рывков дрона. Рывки происходят, когда трос слишком натянут, вызывая сильный пик силы на дроне, смещая его с траектории. Чтобы их уменьшить, одной из составляющих функции является суммарная сила троса, действующая на дрон во время моделирования [15]:

$$J = \int_0^{t_f} \Sigma F_c^2 dt, \quad (5.2)$$

где F_d — сила троса, действующая на дрон.

Другая цель — минимизировать общую мощность, используемую дроном для выполнения своих задач. Поскольку эта оптимизация не влияет на переменные дрона, единственный способ снизить его энергопотребление — избегать рывков и ослабления троса. Решение проблемы возникновения рывков рассмотрено выше, однако ослабление натянутости троса может привести к большей силе, действующей на дрон, и, следовательно, к большему энергопотреблению. Минимизация случая ослабления троса означает уменьшение общей силы, действующей на дрон.

Последняя цель состоит в том, чтобы свести к минимуму энергопотребление двигателя лебедки, поскольку это электродвигатель, это значит что необходимо снизить потребляемый электрический ток и общий используемый крутящий момент.

Общую функцию можно представить как:

$$J = \int_0^{t_f} \Sigma (r_1 F_d^2 + r_2 T^2) dt, \quad (5.3)$$

где r_1 и r_2 — веса;

T — общий крутящий момент, создаваемый двигателем лебедки.

На рисунке 5.9 представлена плоская модель привязанного БПЛА. БПЛА массой m соединен с землей при помощи привязанного кабеля длиной $L=100$ м. r — положение БПЛА относительно центральной точки, α — угол подъема между землей и БПЛА являются полярными координатами БПЛА, а θ — угол тангажа, который характеризует положение БПЛА относительно горизонта.

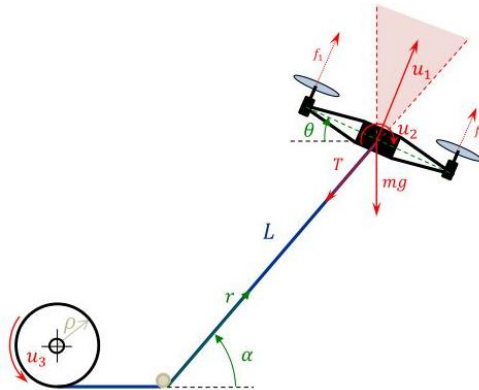


Рисунок 5.9 – Плоская схема привязанного БПЛА

На БПЛА действует сила тяжести mg , где T – натяжение кабеля приводится в движение при помощи восьми винтов, где возникает суммарная тяга u_1 и результирующий крутящий момент u_2 . Динамика привода БПЛА является незначительной. Момент управления действующий на лебедку u_3 управляет кабелем.

На рисунке 5.10 представлена схема кабельного управления привязанным БПЛА сконструированная в MatLab/Simulink. Кабельное управление стабилизацией БПЛА в воздухе привязанного типа осуществляется с помощью наземного блока управления, который определяет положение r относительно центральной точки и бортового блока управления, который расположен на БПЛА.

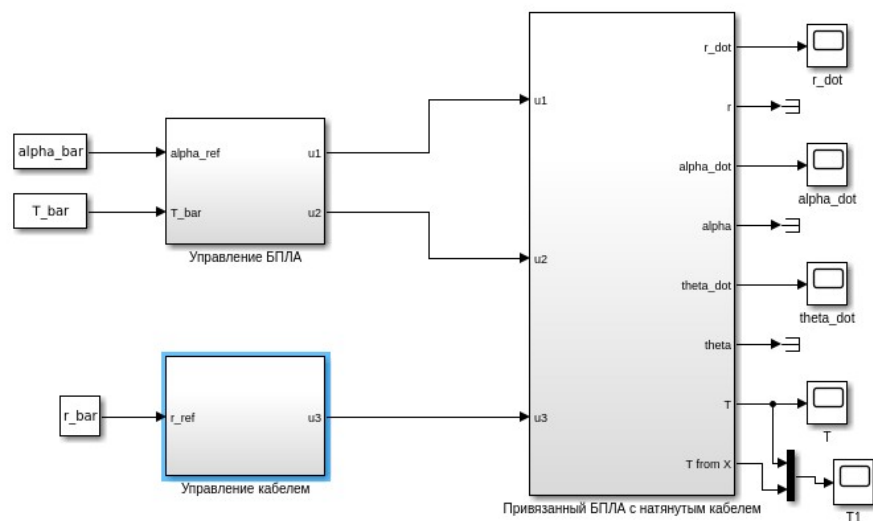


Рисунок 5.10 – Схема кабельного управления привязанным БПЛА

Наземная станция управления представлена на рисунке, главная задача которой состоит в контроле положения БПЛА относительно центра, которое воздействует на лебедку.

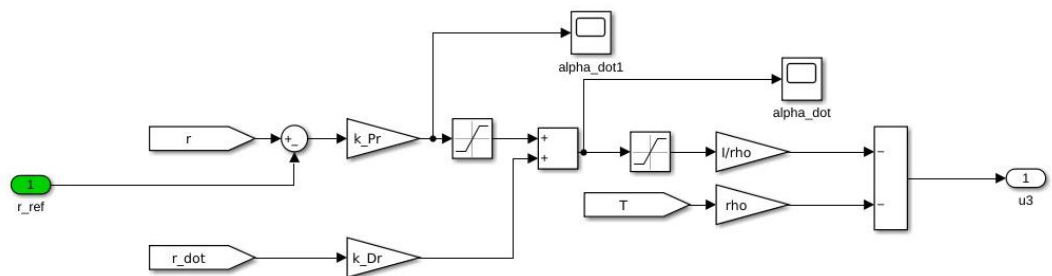


Рисунок 5.11 – Наземная станция управления кабелем

Слишком быстрое разматывание кабеля может привести к потере натяжения, а закон управления должен обеспечить положение относительно центра, а также чтобы производные r оставались ограниченными.

На рисунке представлено бортовое управление БПЛА, которое должно обеспечить выполнение полета БПЛА с учетом ограничения натянутости кабеля.

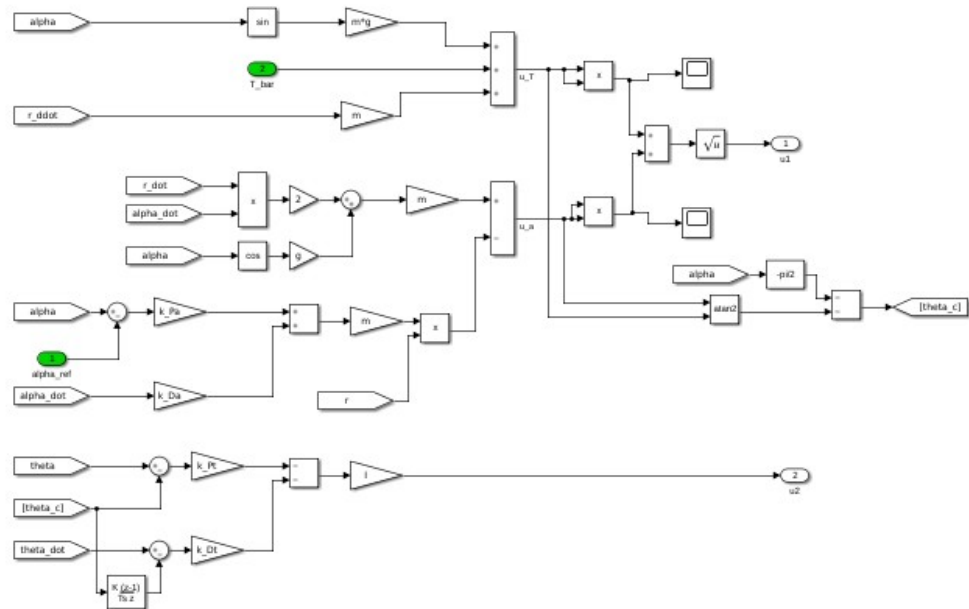


Рисунок 5.12 – Схема управления БПЛА

Осциллограф T1 показывает натяжение кабеля привязанного БПЛА во времени. Ось x показывает время в секундах, а ось y показывает натяжение кабеля. Из графика можно увидеть, что в начальной фазе наблюдается начало движения БПЛА, в связи с чем натяжение кабеля сильное. Натяжение кабеля терпит изменения, связанные с движением БПЛА, которые вызывают колебания кабеля. Со временем колебания кабеля уменьшаются, что свидетельствует о стабилизации работы системы и устанавливается около нулевого значения. В результате натяжение кабеля является стабильным без динамической нагрузки.

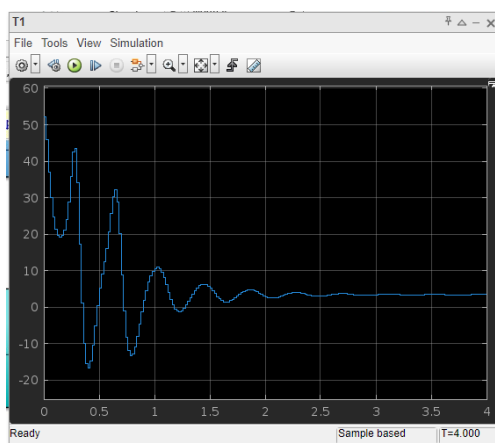


Рисунок 5.13 – Натяжение кабеля

Осциллограф скорости изменения угла тангажа показывает ответ БПЛА на команду управления. Сначала наблюдается резкое возмущение БПЛА, которое вызывает колебания скорости изменения угла тангажа θ . Далее система управления уменьшает амплитуду колебаний, что приводит к затуханию колебаний. Периодичность колебаний показывает что система имеет собственные частоты.

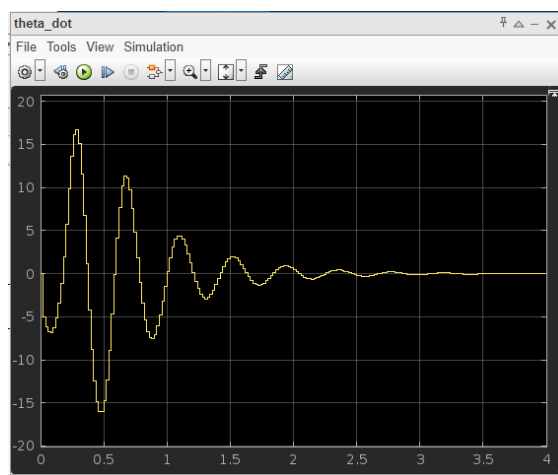


Рисунок 5.14 – Скорость изменения угла тангажа

Осциллограф скорости изменения угла подъема показывает как меняется угол подъема со временем. Начальная фаза характеризует начало работы БПЛА, связанное с отрывом от земли и началом полета. Со временем система стабилизуется и угол подъема становится оптимальным.

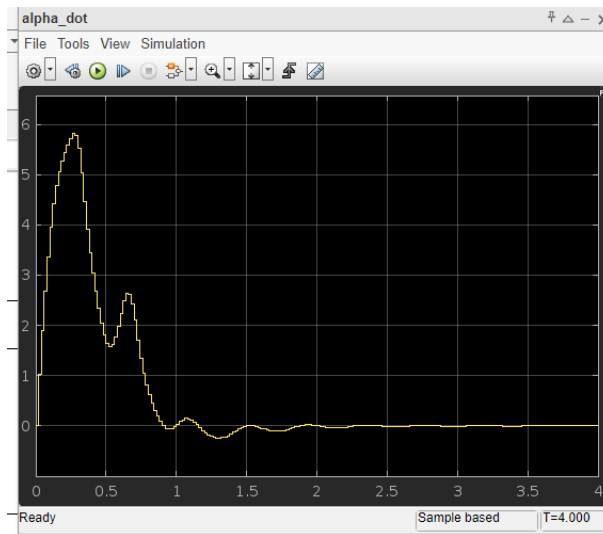


Рисунок 5.15 – Скорость изменения угла подъема

Скорость изменения расстояния изменяется линейно.

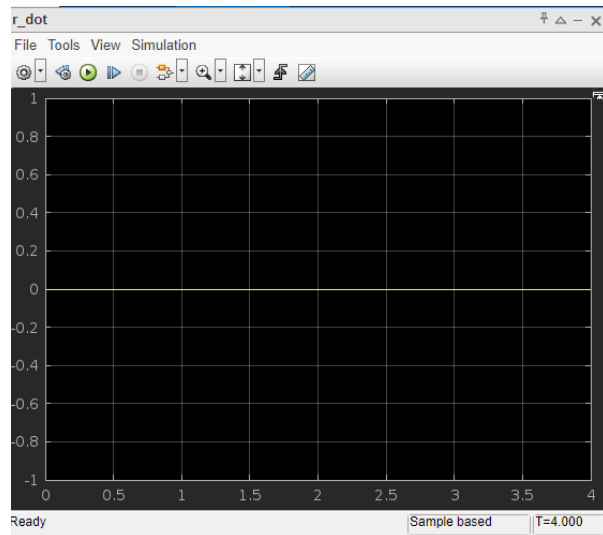


Рисунок 5.16 – Скорость изменения расстояния

В результате модулирования в MatLab/Simulink удалось оценить стабильность работы привязанной системы БПЛА. Малые отклонения от целевых значений быстро компенсируются. Натяжение кабеля устанавливается в допустимых пределах, не вызывая ни провисания, ни рывков кабеля, которые могли бы привести к неисправности работы БПЛА. Влияние внешних факторов незначительно, система способна сохранить устойчивость и компенсирует внешние возмущения, возвращаясь к исходному состоянию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе были рассмотрены способы и сценарии организации радиосвязи при помощи БПЛА, система управления и динамика соосного октокоптера, а также разработана схема привязанного БПЛА.

Использование мобильных радиомачт на базе БПЛА являются эффективным и перспективным решением для обеспечения временного радиовещания в удаленных и труднодоступных районах. Воздушные базовые станции способны обеспечить широкий охват и стабильное соединение в различных сферах, в том числе военной, коммерческой и гражданской. В условиях стихийных бедствий, где сохраняется режим чрезвычайной ситуации, мобильные радиомачты способны сыграть решающую роль для жизни и спасения людей.

Для целей обеспечения временной связи больше всего подходят БПЛА привязанного типа. Такой тип дрона не ограничен во времени работы и способен обеспечивать связь 24 часа в сутки, при этом его потребляемая мощность будет минимальна. БПЛА выступает в роли ретранслятора связи, при котором происходит прием и передача сигнала связи между различными устройствами или наземными базовыми станциями. Роль воздушных базовых станций заключается в получении сигнала от одного источника и передачи его другому, при этом БПЛА расширяет зону покрытия и обеспечивает связь в тех условиях, где связь недоступна.

В целом, радиомачты на основе БПЛА обладают значительным потенциалом и могут стать важным элементом инфраструктуры в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дингес С. И., Зенкина А. П. Типы конфигураций многостандартных и многодиапазонных базовых станций систем связи с подвижными объектами //Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. – 2009.
2. Rolly R. M., Malarvezhi P., Lagkas T. D. Unmanned aerial vehicles: Applications, techniques, and challenges as aerial base stations //International Journal of Distributed Sensor Networks. – 2022.
3. Оспанов Б. Т. Передвижная базовая станция сотовой связи «ПБС» //ББК 645.247 Т38. – 2023.
4. Фетисов В. С., Кулбаев Б. Р. Содержание и развитие концепции "Привязанный беспилотный летательный аппарат" //Альманах современной науки и образования. – 2014.
5. Томаштик Дж. и др. Метод RTK / РРК с использованием беспилотных летательных аппаратов — оптимальное решение для картографирования труднодоступных лесных территорий? // Дистанционное зондирование. – 2019.
6. Экасо Д., Некс Ф., Керле Н. Оценка точности измерений кинематики в реальном времени (RTK) на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) для прямой географической привязки //Наука о геопространственной информации. – 2020.
7. Турыгин А. Б., Штоллманн В. В. Динамика привода беспилотного летательного аппарата //Аграрный вестник Нечерноземья. – 2021.
8. Гоголев А. А. Комплект средств моделирования микробеспилотных летательных аппаратов//Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем. – 2015.
9. Слюсар В. Радиолинии связи с БПЛА. Примеры реализации //Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010.
10. Замятин П. А. Системы управления беспилотными летательными аппаратами //Инновационная наука. – 2020.
11. Zakeye Azaki, Jonathan Dumon, Nacim Meslem, Ahmad Hably, Pierre Susbielle Modelling and control of a tethered drone for an AWE application. – 2022. URL: <https://hal.science/hal-03759486>
12. Mathematical Modeling of the Coaxial Quadrotor Dynamics for Its Attitude and Altitude Control. – 2021. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/5/1232>
13. UABS unmanned aerial base station. - 2023 URL: <https://www.telecomtrainer.com/uabs-unmanned-aerial-base-station/>
14. Aerial Base Stations for Global Connectivity: Is It a Feasible and Reliable Solution? URL: <https://vtmagazine.ieee.org/2023/12/29/aerial-base-stations-for-global-connectivity-is-it-a-feasible-and-reliable-solution>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломную работу

Специальность 6В06201 – Телекоммуникация

Тема: «Мобильная радиомачта на основе мультироторного БПЛА»

Дипломная работа построена следующим образом: введение, возможности организации связи при помощи БПЛА, система радиосвязи БПЛА, БПЛА в качестве ретранслятора связи, системы управления БПЛА и техническая часть создания октокоптера.

Использование беспилотных летательных аппаратов в целях развертывания сетей для различных ведомств РК является потенциально значимым. Мобильные радиомачты играют важную роль в случаях чрезвычайных ситуаций для обеспечения связи в тех зонах, где наземная связь недоступна.

В рамках дипломной работы был проведен анализ существующих базовых станций, различные сценарии использования БПЛА в качестве ретранслятора связи. В работе представлены системы управления привязанным дроном, а именно соосный октокоптер и его динамика, сверхточное позиционирование для БПЛА. Разработана схема привязанного БПЛА в среде MatLab/Simulink.

Основные выводы содержатся в заключении.

Оценка работы

Дипломная работа Марченко Екатерины Михайловны 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

«27» 05 2024 г.



Дараев А.М.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу студента
Марченко Екатерина Михайловна
Специальность 6В06201 – Телекоммуникация

На тему: «Мобильная радиомачта на основе мультироторного БПЛА»

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В работе студентки Марченко Екатерины Михайловны произведен анализ возможностей организации радиосвязи на базе БПЛА.

Первая глава включает в себя вопросы возможности организации связи на базе БПЛА. Типы базовых станций. Сценарии организации связи воздушными базовыми станциями, а также применение воздушных радиомачт для ведомств РК.

Во второй главе рассматриваются вопросы и особенности приема сигналов различных частот БПЛА.

В третьей главе рассматриваются применение БПЛА в качестве ретранслятора связи и способы организации ретрансляционной связи.

В четвертой главе подробно описываются системы управления БПЛА, а именно система привязанного БПЛА, динамика октокоптера и сверхточное позиционирование RTK.

В пятой главе рассматриваются вопросы создания октокоптера, системный дизайн, блок-схема привязанного БПЛА и проектирование привязанного БПЛА в среде MatLab.

В заключении приводится подведение итогов реализации проекта.

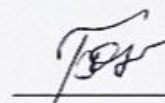
Оценка работы

Студентка отлично ориентируется в теоретическом материале, соблюдены все стандарты университета по написанию дипломных работ.

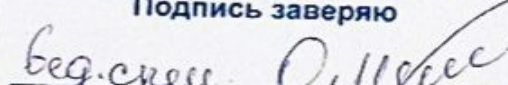
Считаю, что дипломная работа выполнена на отлично (А, 95%) Марченко Екатерина Михайловна заслуживает присвоения академической степени бакалавра специальности 6В06201 – Телекоммуникация.

Рецензент

к.т.н., ассоц. профессор
АУЭС имени Г.Даукеева
«25» мая 2024 г.

 Байкенов А.С.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю



қыдыметі _____ аты-жөні _____
« 30 » _____ 05 _____ 20 24 ж.



**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: Марченко Екатерина Михайловна

Тақырыбы: Мобильная радиомачта на основе мультироторного БПЛА

Жетекшісі: Абдумажит Дараев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 4.8

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.1

Дәйексөз (35): 0.8

Әріптерді ауыстыру: 3

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 39

Ақ 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:

Күні 30.05.2024

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Марченко Екатерина Михайловна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Мобильная радиомачта на основе мультироторного БПЛА

Научный руководитель: Абдумажит Дарасв

Коэффициент Подобия 1: 4.8

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 39

Знаки из других алфавитов: 3

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:

Дата 30.05.2024

Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Марченко Екатерина Михайловна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Мобильная радиомачта на основе мультироторного БПЛА

Научный руководитель: Абдумажит Дарасв

Коэффициент Подобия 1: 4.8

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 39

Знаки из других алфавитов: 3

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:

Дата 30.05.2024

Марченко Е
проверяющий эксперт