

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ДОСТАВКЕ ГРУЗОВ НА ОГРАНИЧЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Алефиренко Виктор Михайлович,

канд. техн. наук, доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники г. Минск

Нгуен Чонг Фьонг

магистрант, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники г. Минск

Аннотация: рассмотрены проблемы использования беспилотных летательных аппаратов для решения задач по доставке грузов на ограниченной территории. Показано, что для решения таких задач возможно использование мультироторных вертолетов с системой инерциальной навигации и дополнительным датчиком изображения.

Abstract: problems when using unmanned aerial vehicles for cargo delivery in a restricted area are considered. It is shown that using multi-rotorcraft with inertial navigation system and additional image sensor for solving these problems is possible.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, доставка грузов, ограниченная территория, датчики, навигация.

Keywords: unmanned aerial vehicles, cargo delivery, restricted area, sensors, navigation.

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) широко используются для решения различных задач: от видеонаблюдения и мониторинга территорий до доставки различных грузов. Однако доставка грузов на небольших ограниченных территориях и различных объектах инфраструктуры представляет определенные сложности, так как навигация БЛА с использованием существующих систем навигации не позволяет с необходимой точностью доставлять грузы в необходимые пункты назначения.

Огромный интерес к использованию БЛА для решения различных задач привел к появлению их разнообразных типов. Существуют четыре основные категории БЛА: однороторные вертолёты (single rotor helicopters), мультироторные вертолёты (multi rotorcrafts), самолеты с фиксированным крылом (fixed wing planes) и гибридные комбинации (hybrid combinations). Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки и позволяют оператору выбрать наиболее подходящий вариант для решения конкретной задачи [1].

Однороторные вертолёты – построены по классической схеме и имеют основной несущий ротор и рулевой винт для управления (рисунок 1.1). Они могут вертикально взлетать и приземляться, двигаться вперед и назад.

Пилотируемые однороторные вертолеты популярны в авиации, но их беспилотные версии не так популярны среди специалистов, занимающихся исследованиями в области создания БЛА для решения различных задач с их помощью. Главное преимущество таких аппаратов состоит в том, что они могут нести большую нагрузку при длительных полетах на большие расстояния или в режиме зависания. Недостатками такой компоновочной схемы являются конструктивная сложность, опасность, исходящая от вращения большого ротора, и высокая стоимость.



Рисунок 1.1 – однороторный вертолет

Мультироторные вертолёты – эта категория БЛА может быть разделена на подкатегории в зависимости от количества роторов. Самыми популярными являются квадрокоптер (quadcopter) и гексакоптер (hexacopter) (рисунок 1.2). Разработаны также трикоптер (tricopter) и октокоптер (octocopter). Как и однороторные вертолеты, мультироторные вертолеты могут вертикально взлетать и приземляться. Они могут работать как в помещении, так и на открытом воздухе и обладают способностью быстро и гибко выполнять необходимые маневры. Кроме того, они имеют более низкую конструктивную и электрическую сложность. Недостатками такой категории являются ограниченная грузоподъемность и время полета.



Рисунок 1.2 – мультироторный вертолёт

Самолеты с фиксированным крылом – основной принцип построения этих БЛА основан на использовании жесткого крыла со специальным аэродинамическим профилем (рисунок 1.3). Они могут летать за счет создания подъемной силы, создаваемой, обтеканием потоком воздуха аэродинамического профиля крыла при движении вперед, обеспечиваемом вращающимся пропеллером. Управление аппаратом осуществляется путем изменения наклона отдельных частей крыла (элеронов) относительно поверхности крыла. Главным преимуществом таких аппаратов является более простая компоновочная схема с одним винтом. Их аэродинамическая структура позволяет осуществлять полеты на большие расстояния с высокой скоростью. Кроме того, они могут нести более тяжелый груз по сравнению с другими видами БЛА. Недостатками таких аппаратов являются необходимость взлетно-посадочной полосы для взлета и посадки и невозможность выполнения задач, связанных с необходимостью зависания.



Рисунок 1.3 – БЛА с фиксированным крылом

Гибридные комбинации – этот вид БЛА является улучшенной версией самолетов с фиксированным крылом путем добавления определенного числа роторов (рисунок 1.4). Гибридные БЛА обладают преимуществами мультироторных вертолетов и самолетов: имеют возможность вертикально взлетать и приземляться, осуществлять зависание над объектом, летать на большие расстояния и нести увеличенную нагрузку. Основным недостатком таких БЛА является сложная компоновочная схема и достаточно сложная система управления, которая требует разделения или одновременного совмещения функций роторов, винта и крыла. Этот вид БЛА еще находится в процессе дальнейшей разработки.



Рисунок 1.4 – БЛА с гибридной комбинацией

Основные преимущества и недостатки рассмотренных категорий БЛА приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Преимущества и недостатки некоторых категорий БЛА

| Категории БЛА | Преимущества | Недостатки |
|---------------------------------|---|---|
| Однороторные вертолеты | Вертикальный взлет и посадка | Опасность, исходящая от большого ротора |
| | Полёт в режиме зависания | Сложность конструкции |
| | Большая грузоподъёмность | Небольшая зона действия |
| Мультироторные вертолеты | Вертикальный взлет и посадка | Ограниченная грузоподъёмность |
| | Полёт в режиме зависания | Короткое время полета |
| | Высокая манёвренность | |
| | Простота конструкции | |
| | Операции в небольших помещениях и на открытом воздухе | |
| Самолеты с фиксированным крылом | Высокая скорость полёта | Необходимость взлетно-посадочной полосы |
| | Большая грузоподъёмность | Невозможность полёта в режиме зависания |
| | Большая зона действия | |
| Гибридные комбинации | Вертикальный взлет и посадка | Находится в процессе разработки |
| | Полёт в режиме зависания | |
| | Большая зона действия | |

Мультироторные вертолётыв более подходят для решения таких задач как обслуживание инфраструктуры, связанное с перемещением легкого груза на небольшие расстояния благодаря их возможности зависания и манёвренности. С

другой стороны, однороторные вертолеты и самолеты с фиксированным крылом больше подходят для наблюдения больших площадей с большой высоты и перемещению тяжелого груза на большие расстояния [1].

Использование БЛА на больших открытых территориях регламентируется соответствующими правилами [2,3]. Поскольку авиационные правила изменяются не так быстро, как технологии беспилотных летательных аппаратов, то инвесторы обращают больше внимания на возможность использования БЛА на небольших ограниченных территориях и в больших по площади помещениях, где эти правила не применяются. К таким объектам относятся помещения (сборочные цеха) для производства продукции, теплицы, территории заводов, фабрик, больниц, санаториев и других подобных объектов, имеющих развитую инфраструктуру на относительно небольшой и ограниченной территории.

Для решения той или иной поставленной задачи БЛА используют различные датчики и системы навигации, которые являются их ключевыми компонентами.

Для решения различных задач в БЛА могут использоваться следующие типы датчиков:

- GPS (Global Positioning System) для определения местоположения;
- INS (Inertial Navigation System) для навигации;
- ультразвуковые датчики и дальномеры для предотвращения столкновений и навигации;
- видеокамеры для наблюдения, сбора данных, предотвращения столкновений и навигации;
- LIDAR (Light Identification Detection And Ranging) для предотвращения столкновений, навигации и в качестве 3D-сканера;
- RADAR (Radio Detection And Ranging) для предотвращения столкновений и навигации.

Основными типами датчиков БЛА являются датчики системы глобального позиционирования (GPS) и системы инерциальной навигации (INS), которые используются для определения местоположения и навигации. Однако эти датчики имеют определенные недостатки, вытекающие из принципов их работы, которые могут влиять на эффективность выполнения поставленной перед ними задачи. Так один из недостатков датчиков системы GPS заключается в сомнительной точности, поскольку она зависит от общего числа доступных на данный момент спутников и местоположения БЛА. В тоже время недорогие датчики системы INS имеют существенный недостаток, связанный с тем, что небольшие ошибки при расчете ускорения и угловой скорости последовательно интегрируются в линейные и квадратичные ошибки в скорости и положении соответственно. Поэтому вышеуказанное навигационное оборудование ставит под сомнение надежность его использования в БЛА для решения задач на небольших ограниченных территориях. Для этого необходимо использовать другие способы оценки и отслеживания положения и ориентации БЛА. Более подходящим решением в этом случае может быть использование нескольких

совместных датчиков. Однако некоторые датчики могут не подходить по весу из-за ограниченной полезной нагрузки БЛА.

В настоящее время эволюция встраиваемых систем привела к созданию мощных по своим функциональным возможностям и недорогих модулей, представляющих собой устройства для инерциальных измерений IMU, которые могут быть установлены на БЛА для сбора необходимой информации при решении поставленной задачи.

Ультразвуковые датчики и лазерные дальномеры могут использоваться для обнаружения препятствия и измерения расстояния до него (рисунки 1.5 и 1.6). Преимуществами ультразвуковых датчиков являются их низкая цена и легкость настройки, а недостатками – небольшая дальность измерения расстояния, ограниченная единицами метров, отсутствие возможности прямого измерения скорости, низкая достоверность получаемых данных [4].



Рисунок 1.5 – ультразвуковой датчик



Рисунок 1.6 – лазерный дальномер

Системы стереозрения также могут обеспечивать измерение расстояния для решения задач обхода препятствий (рисунок 1.7). Кроме того, они могут совмещаться с устройствами IMU для оценки визуально-инерционного движения.



Рисунок 1.7 – система стереозрения

Преимуществами датчиков изображения являются способность распознавания и классификации объектов с помощью использования технологии технического зрения и невысокая стоимость камеры, а недостатками – отсутствие возможности прямого измерения скорости объектов, сильное влияние погодных и дорожных условий, обработка данных с камер занимает относительно большое время, что влияет на эффективность их работы [5].

LIDAR – система получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах [6]. Общий вид датчика LIDAR показан на рисунке 1.8.

Преимуществами датчиков LIDAR являются высокая точность, неподверженность влиянию световых изменений, таких как темнота и свет, что повышает его эффективность, отсутствие геометрических искажений, низкая цена. Недостатками являются относительно большие габаритные размеры, низкая эффективность работы во время сильного дождя или низко висящих облаков, восприимчивость к помехам, создаваемым отраженным светом окружающей среды, большое время обработки комплексных данных, отсутствие строгого международного протокола, который регламентирует метод сбора и анализа данных [7].



Рисунок 1.8 – датчик LIDAR

RADAR – система для обнаружения воздушных, морских и наземных объектов, а также для определения их дальности, скорости и геометрических

параметров. Использует метод радиолокации, основанный на излучении радиоволн и регистрации их отражений от объектов [8]. Общий вид передатчика и приёмника датчика RADAR показан на рисунке 1.9.

Преимуществами датчиков RADAR являются намного меньшее влияние погодных условий, высокая разрешающая способность по дальности и скорости, возможность прямого измерения дальности и скорости с высокой точностью, мгновенная обработка данных, что особенно важно для высоких скоростей перемещения, возможность легко накапливать и анализировать информацию в динамике за счет небольшого объема информации. Недостатками являются отсутствие прямой возможности классификации вида препятствия, оценки его габаритов и высокая цена [9].

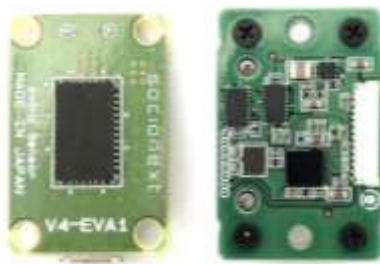


Рисунок 1.9 – передатчик и приёмник датчика RADAR

Таким образом, при использовании БЛА для перемещения и доставки грузов на небольших ограниченных открытых и закрытых территориях, наиболее подходящими по своим функциональным возможностям по распознаванию объектов, измерению дальности и обходу препятствий являются датчики и их комбинации в составе: устройства для инерциальных измерений IMU, датчика для предотвращения столкновений и навигации RADAR, ультразвукового датчика и видеокамеры.

Для навигации БЛА используют различные навигационные системы, позволяющие прокладывать путь к намеченной цели. Сгенерированные координаты используются также и для определения местоположения БЛА. Поэтому, они являются важной составной частью системы управления любых категорий БЛА.

Одним из способов навигации является использование инерциальной навигационной системы INS. Большинство систем INS используют акселерометры для определения ускорения и гироскопы для определения углового вращения. Эти акселерометры и гироскопы конструктивно упакованы вместе и представляют собой инерциальное измерительное устройство IMU. Система INS может определять положение, ориентацию и угловую скорость, используя только свои показания и истекшее время. Обычно начальная известная позиция БЛА загружается при запуске для получения исходных показаний системы INS. Проблема использования системы INS заключается в том, что со

временем точность измерения ухудшается за счет накопления ошибок в процессе обработки результатов.

Многие страны разработали независимые спутниковые навигационные системы, которые являются более точными, чем система INS. В США используется система GPS, в Европе – Galileo, в России – глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС), в Китае – BDS (BeiDou Navigation Satellite System), в Индии – NAVIC (NAVigation with Indian Constellation), во Франции – DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite), в Японии – QZSS (Quasi-Zenith Satellite System). Все вместе они называются спутниковой системой навигации (Global Navigation Satellite System – GNSS). Эти спутниковые системы навигации обычно находятся на средней околоземной орбите с орбитальными периодами от 10 до 15 часов [10].

GPS является самой старой системой. Она начала эксплуатироваться в 1978 году и стала доступной для глобального использования с 1994 года. В настоящее время GPS имеет 33 спутника, из которых 31 находится на орбите в рабочем состоянии.

Galileo является глобальной навигационной системой, доступной для гражданского и коммерческого использования. Полностью развернутая система будет состоять из 30 действующих спутников и 6 запасных на орбите. На данный момент 22 из 30 спутников находятся на орбите.

ГЛОНАСС начала функционировать в 1993 году с 12 спутниками на 2 орбитах на высоте 19130 км. В настоящее время на орбите находятся 27 спутников в рабочем состоянии.

BDS имеет на орбите 22 оперативных спутника, а полное созвездие должно состоять из 35 спутников.

NAVIC имеет 7 спутников, 3 из которых находятся на геостационарной орбите, а остальные 4 – на геосинхронных орбитах.

QZSS имеет 7 спутников, 4 из которых уже находятся на орбите [10].

Характеристики некоторых спутниковых систем навигации приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Характеристики некоторых спутниковых систем навигации

| Система | GPS | Galileo | ГЛОНАСС | BDS | NAVIC |
|------------------------|-------|------------------|---------|-------|-------|
| Владелец | США | Европейский союз | России | Китай | Индия |
| Орбитальная высота, км | 20180 | 23222 | 19130 | 21150 | 36000 |
| Период обращения, ч | 11,97 | 14,08 | 11,26 | 12,63 | - |
| Количество спутников | 31 | 22 | 28 | 22 | 7 |

| | | | | | |
|-----------------|---------|-------------|---------|----------|----------|
| Частота, ГГц | 1,57542 | 1,164–1,215 | 1,602 | 1,561098 | 1,16445– |
| | 1,2276 | 1,260–1,300 | 1,246 | 1,589742 | 1,18845 |
| Состояние | Рабочее | 1,559–1,592 | Рабочее | 1,20714 | 2,4835– |
| | | Рабочее | | 1,26852 | 2,500 |

Проблемы со спутниковой навигацией заключаются в том, что спутниковый сигнал достаточно слабый. Он может быть подвергнут атмосферным помехам и блокироваться различными объектами. Существует также много источников ошибок, влияющих на оценку местоположения спутника. Возмущения ионосферы и тропосферы приводят к замедлению спутникового сигнала при его прохождении через атмосферу. Сигналы, до того, как они достигнут приемника БЛА, могут попадать на различные объекты и отражаться. Такое явление, называемое многолучевым распространением, приводит к задержке сигнала. Часы внутри спутникового приемника не такие точные, как атомные часы, и небольшие ошибки синхронизации со временем приводят к ошибкам в расчетах. Эти ошибки можно исправить, используя дифференциальный сигнал. Если местоположение на земле точно известно, его можно сравнить с оценкой спутникового навигационного сигнала. Ошибка между этими позициями может быть рассчитана и использована для корректировки спутникового навигационного сигнала.

Оценка положения БЛА с помощью спутниковой навигации обычно очень хорошая и намного лучше, чем с помощью системы INS. Однако иногда сигнал может быть заблокирован из-за плохой геометрии территории, помех и сбоев. При полете БЛА в долине или в городе спутниковые сигналы могут быть заблокированы и сигнал станет недоступен. Одним из наиболее распространенных методов преодоления недостатков спутниковой навигации является объединение приемника спутниковой навигации с системой INS. В периоды, когда спутниковый сигнал будет недоступен, начинает функционировать система INS.

Также существуют угрозы подмены спутникового навигационного сигнала. Это происходит, когда специально созданный с целью подмены сигнал с Земли используется для управления навигацией БЛА. Необходимо отметить что сигнал, генерируемый с Земли, будет намного сильнее, чем сигнал со спутника. Сегодня существуют технологии, которые могут противостоять этой проблеме, такие как коммерчески доступные системы против подмены. Эти системы могут обнаружить более сильный сигнал и игнорировать его. Другие методы могут использовать шифрования сигнала с помощью кода. Большинство систем БЛА в значительной степени полагаются на спутниковую навигацию. Эти системы уязвимы в случае потери спутникового сигнала, применения контрмер или сбоя приемника. Кроме того, многие страны продемонстрировали возможность отключения спутников. Поэтому необходимо найти альтернативные

навигационные системы, которые более надежные и менее восприимчивые к помехам и сбоям. В настоящее время существует ряд таких систем, находящихся в стадии разработки или производства. Одной из таких систем является инерциальная навигация с помощью изображений [11].

Инерциальная навигация с дополнительным датчиком изображения – это полная автономная навигационная система, поскольку она основана только на встроенных датчиках, которые предоставляют информацию о динамике БЛА и наблюдении за территорией. Эта система навигации может использоваться в случае отказа других систем навигации, которые нуждаются в дополнительном внешнем оборудовании. Разработка методов навигации с использованием датчиков изображения не означает полной замены широко распространенной в настоящее время технологии гибридизации, которая заключается в соединении спутниковой и инерциальной навигации. Датчики изображения могут стать дополнительными средствами навигации в сочетании с уже существующими. Улучшение качества недорогих видеокамер привело к возможности получения точной навигационной информации, такой как положение, скорость или ориентация, исходя из оптических измерений. Наблюдение за окружающей территорией может рассматриваться как хороший источник информации для целей навигации. Например, измерение потока изображения может быть репрезентативным для определения положения, скорости и ориентации БЛА [12].

Таким образом, для использования БЛА для перемещения грузов на небольших ограниченных открытых и закрытых территориях, система инерциальной навигации с дополнительным датчиком изображения является наиболее подходящим решением благодаря автономной навигационной возможности, низкой цене и слабой зависимости от факторов окружающей среды.

Список литературы

1. Survey on Computer Vision for UAVs: Current Developments and Trends. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://link.springer.com>
2. Правовой аспект использования беспилотных аппаратов в России. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoy-aspekt-ispolzovaniya-bespilotnyh-apparatov-v-rossii>
3. Постановление совета министров республики Беларусь о некоторых вопросах использования авиамodelей в Республике Беларусь. Правила использования авиамodelей в Республике Беларусь. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://clck.ru/G8SbX>
4. Sensor Technology for Industrial Drones. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=973>
5. Пять датчиков автопилота и их (пока) неразрешимые трудности. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/396185/>

6. Лидар. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Lidar>
7. Advantages and Disadvantages of LiDAR. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://lidarradar.com/info/advantages-and-disadvantages-of-lidar>
8. Радиолокационная станция. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Радиолокационная_станция
9. Advantages and Disadvantages of RADAR systems. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://clck.ru/G8Sco>
10. What are the various GNSS systems? [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://clck.ru/G8SdY>
11. Alternative UAV Navigation Systems [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://clck.ru/G8SeS>
12. State of the Art of Image-aided Navigation. Techniques for Aircraft Approach and Landing. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-01022434/document>