

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 004.932

НГУЕН
Чонг Фыонг

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ
В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОВ ДЛЯ
ДОСТАВКИ ГРУЗОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 – Компьютерные технологии
проектирования электронных систем

Научный руководитель
канд.техн.наук, доцент
АЛЕФИРЕНКО Виктор Михайлович

Минск 2020

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **АЛЕФИРЕНКО Виктор Михайлович**,
кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **НЕХВЕДОВИЧ Вадим Витальевич**,
Директор ОДО ТехНВС

Защита диссертации состоится «23» июня 2020 г. года в 15³⁰ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П. Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы скорость урбанизации во многих районах увеличивается, и эта тенденция сохранится в будущем, результатом этого быстрого процесса урбанизации является увеличение загрязнения, заторов на дорогах и снижение эффективности экономических деятельностей, главным образом из-за задержек в движении людей и товаров. Кроме того, электронная коммерция постепенно становится важной частью экономики. Эти проблемы вынуждают почтовые компании находить новый способ доставки для удовлетворения потребностей клиентов и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

Использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для доставки грузов (товаров) помогает снизить нагрузку на транспорт в городах. Транспортировка с помощью БЛА имеет ряд преимуществ как для компаний, так и для клиентов: время ожидания сокращено с двух – трех дней, до нескольких часов, плюс к этому – менее вероятно, что пакеты будут повреждены в процесс транспортировки. Сельские районы, как правило, имеют меньше инфраструктуры и могут быть более труднодоступными при использовании традиционных методов доставки. Доставка товаров с помощью БЛА может помочь преодолеть эту проблему, предоставляя сельским жителям доставку всего, от онлайн-заказов до предметов первой необходимости. БЛА могут помочь сократить и, в конечном итоге, заменить существующие методы доставки товаров в сельские районы, такие как автомобили, плавающие средства, почтовые работники.

Для использования БЛА для перемещения грузов на небольших ограниченных открытых и закрытых территориях, инерциальная навигация с дополнительным датчиком изображения является новой тенденцией, позволяющей повысить точность традиционных методов навигации.

Целью диссертации является исследование методов обработки изображений и разработка алгоритма распознавания маркера, предназначенного для маркировки места посадки БЛА.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи:**

1. Анализ видов БЛА, систем технического зрения, правовых аспектов применения БЛА и видов навигации.
2. Исследование методов стабилизации и алгоритмов обработки изображений.
3. Разработка алгоритма обработки изображений и их программная реализация.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Актуальность темы состоит в необходимости разработки алгоритмов обработки изображений маркеров, используемых в системах технического зрения квадрокоптеров для навигации при доставке грузов на небольших территориях и различных объектах инфраструктуры.

Степень разработанности проблемы

Разработка алгоритма распознавания маркера осуществлялась на основе анализа вычислительной требования и точности. Алгоритм обработки изображений должен обеспечивать баланс между скоростью выполнения операций распознавания и скоростью полета БЛА.

Одним из недостатков современных алгоритмов распознавания объекта является требование больших объемов данных, а также больших вычислительных объемов, которые не подходят для ограниченных вычислительных ресурсов БЛА.

Предложенное исследование направлено на устранение этого недостатка на основе исследования специфической структуры маркера и применения подходящих операций обработки изображения.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является создание системы обработки изображений для квадрокоптеров с целью обнаружения типовых маркеров, с помощью которых квадрокоптеры могут определить точное место посадки при решении задачи доставки туда грузов.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи:**

1. Анализ видов БЛА, систем технического зрения, правовых аспектов применения БЛА и видов навигации.
2. Исследование методов и алгоритмов обработки изображений.
3. Разработка алгоритма обработки изображений и их программная реализация.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 81 01-2012 специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы зарубежных ученых в области защиты информации, а также анализ технических нормативных правовых актов по рассматриваемой тематике.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна и значимость полученных результатов заключается в использовании датчика изображения в качестве дополнительной меры для повышения точности традиционных навигационных методов, используемых для ориентации БЛА.

Теоретическая значимость работы заключается в анализе недостатков традиционных методов навигации БЛА и выявлении дополнительных мер для повышения точности определения места посадки БЛА в условиях полного или частичного отсутствия сигналов традиционных систем навигации.

Практическая значимость диссертации состоит в разработке алгоритма распознавания маркера, предназначенного для определения места посадки БЛА при доставке грузов на ограниченной территории.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Метод ориентации БЛА на ограниченной территории в условиях полного или частичного отсутствия сигналов традиционных систем навигации;
2. Алгоритм распознавания маркера с ограниченным вычислительным ресурсом, используемый для определения места посадки БЛА при доставке грузов на ограниченной территории.
3. Метод программно-технической реализации алгоритма распознавания маркера.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на XVI Белорусско-российской науч.-техн. конференции: Технические средства защиты информации (Минск, 5 июня 2018 г.), 55-ой юбилейной конференции аспирантов, магистрантов и студентов: Электронные системы и технологии (22-26 апреля 2019 г., г. Минск, БГУИР), XXXXIII Международной научно-практической конференции: Технические науки – от теории к практике (19 мая 2019 г., г. Санкт-Петербург, научный журнал «Globus»), XXIV Международной научно-технической конференции: Современные средства связи (17-18 октября 2019 г., г. Минск, Белорусская государственная академия связи), 56-ой

научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов: Электронные системы и технологии (18-20 мая 2020 г., г. Минск, БГУИР).

Отдельные положения диссертации могут быть использованы при преподавании дисциплин «Методы и технические средства обеспечения безопасности».

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 7 печатных работах. В их числе 1 статья в зарубежном рецензируемом журнале, 1 статья в сборнике материалов научных конференций и 5 тезисов докладов на научных конференциях.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 27 страниц.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе проведен анализ видов беспилотных летательных аппаратов (БЛА), их преимуществ и недостатков; анализ некоторых типов датчиков, их особенностей, характеристик, преимуществ и недостатков; анализ способов навигации и их недостатков.

Во второй главе изучены модели камер, источники искажений изображения и методы стабилизации изображения; изучены методы фильтрации, сглаживания и сегментации изображений.

В третьей главе изучены инструменты разработки алгоритма обработки изображений (язык программирования и библиотека); изучены типы маркеров для обнаружения места посадки БЛА; для устранения шума в изображении и сегментации объектов изображения, в ходе экспериментов были объединены некоторые методы обработки изображений; изучен новый простой метод извлечения структуры объекта для распознавания маркера; разработан пользовательский интерфейс для отладки алгоритма.

В приложении представлены публикации автора и акт внедрения.

Общий объем диссертационной работы составляет 105 страницы. Из них 57 страниц основного текста, 47 иллюстраций на 28 страницах, 2 таблицы на 2 страницах, библиографический список из 33 наименований на 2 страницах, список собственных публикаций соискателя из 7 наименований на 1 странице, 4 приложений на 48 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрена роль БЛА в экономике при использовании для доставки товаров; поставлена цель и задачи исследования.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В **первой главе** проведен анализ видов беспилотных летательных аппаратов (БЛА), их преимуществ и недостатков; анализ некоторых типов датчиков, их особенностей, характеристик, преимуществ и недостатков; анализ способов навигации и их недостатков. Для доставки грузов на небольших ограниченных территориях, наиболее подходящим видом БЛА является квадрокоптер, обладающий простотой конструкции, высокой манёвренностью и возможностью работы в режиме зависания.

Наиболее подходящими по своим функциональным возможностям датчиками БЛА по распознаванию объектов, измерению дальности и обходу препятствий являются датчики и их комбинации в составе: датчика для инерциальных измерений IMU, датчика для предотвращения столкновений и навигации RADAR, ультразвукового датчика и видеокамеры.

Для навигации БЛА инерциальная система навигации с дополнительным датчиком изображения является наиболее подходящим решением благодаря автономной навигационной возможности, низкой цене и слабой зависимости от факторов окружающей среды.

Во **второй главе** изучены модели камер, источники искажений изображения и методы стабилизации изображения; изучены методы фильтрации, сглаживания и сегментации изображений.

Видеокамеры, используемые в БЛА для получения видеоизображения, вносят тангенциальное и радиальное искажение, которые должны компенсироваться предварительной калибровкой видеокамеры.

Для снижения влияния вибрации, возникающей при работе БЛА, и получения качественных изображений необходимо использовать цифровую стабилизацию, не требующую использования сложных механических элементов, увеличивающих общий вес БЛА и, соответственно, снижающих вес полезной нагрузки, которая имеет более высокую скорость реакции, чем у оптического стабилизатора и позволяет увеличить чувствительность светопоглощающих элементов.

Для улучшения качества изображений, полученных видеокамерой БЛА, необходимо использовать такие методы предварительной обработки как морфологическую фильтрацию и метод Гауссова сглаживания для удаления помех, а также метод подчёркивания границ с использованием оператора Собеля и методы сегментации изображения для увеличения контраста интересующих частей изображения.

В **третьей главе** изучены инструменты разработки алгоритма обработки изображений (язык программирования и библиотека); изучены типы маркеров для обнаружения места посадки БЛА; для устранения шума в изображении и сегментации объектов изображения, в ходе экспериментов были объединены некоторые методы обработки изображений; изучен новый простой метод извлечения структуры объекта для распознавания маркера; разработан пользовательский интерфейс для отладки алгоритма.

Для разработки алгоритма обработки изображения были использованы язык программирования Python и библиотека OpenCV, благодаря тому, что их относительная простота позволяет минимизировать время разработки алгоритма.

Для обеспечения простоты алгоритма и высокой скорости его выполнения, для маркировки места посадки БЛА был выбран маркер ArUco (рисунок 1). Благодаря простой структуре маркера ArUco, процесс его обработки будет достаточно простым и быстрым.

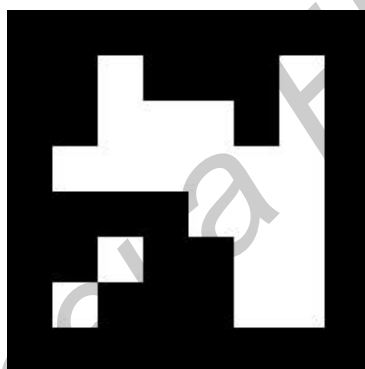


Рисунок 1 – Пример маркера ArUco 6x6

Алгоритм распознавания маркера разработан путем объединения алгоритмов стабилизации, фильтрации, сегментации, выделения контуров. Кроме этого, для повышения точностью процесса распознавания маркера был применен метод извлечения структуры «Block-Binary-Pixel-Sum Features».

Результат распознавания маркера показан на рисунке 2.

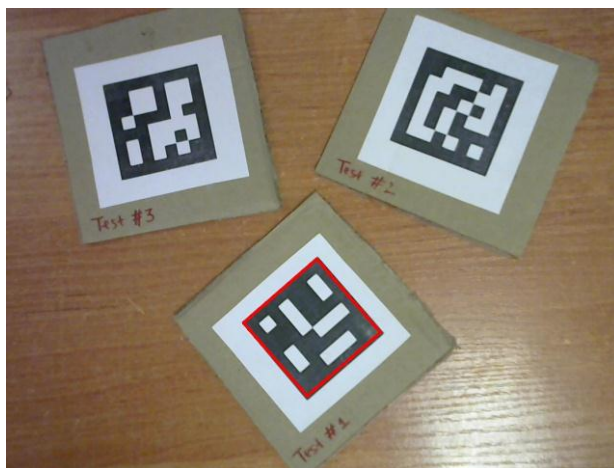


Рисунок 2 – Результат распознавания маркера

Диаграмма разработанного алгоритма обнаружения маркера показана на рисунке 3.



Рисунок 3 – Диаграмма алгоритма распознавания маркера

Окна разработанного пользовательского интерфейса показаны на рисунках 4, 5 и 6.

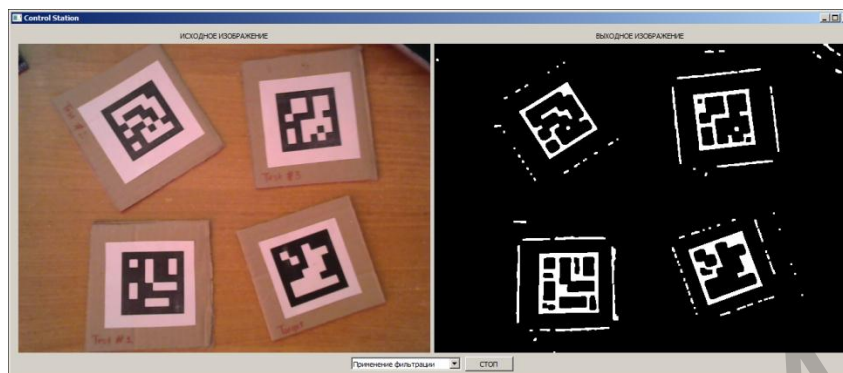


Рисунок 4 – Окно интерфейса при исследовании функции «Применение фильтрации»

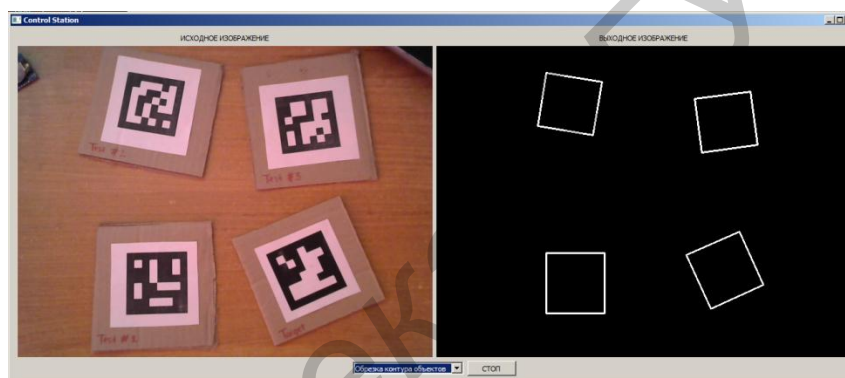


Рисунок 5 – Окно интерфейса при исследовании функции «Обрезка контура объектов»

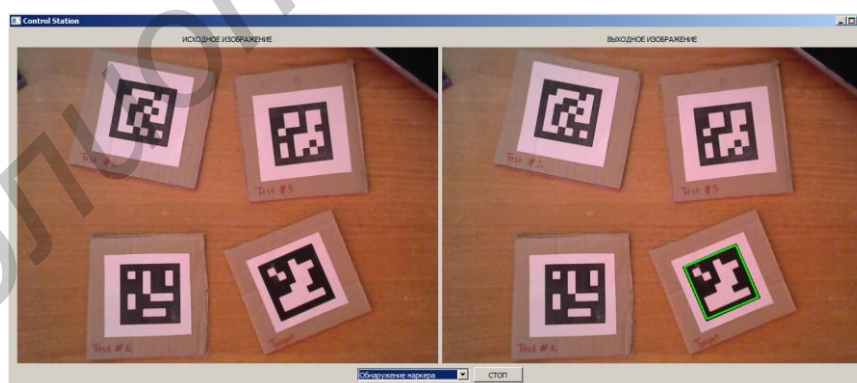


Рисунок 6 – Окно интерфейса при исследовании функции «Обнаружение маркера»

Таким образом, предложенный, разработанный и проверенный экспериментально алгоритм обработки цифровых меток, включающий такие операции обработки изображений, как преобразование исходного изображения в оттенки серого, различные виды фильтрации, сегментация, выделение контуров, проективное преобразование и распознавание объекта, выполняемые в соответствующей последовательности, позволяет использовать его для

обнаружения и распознавания маркеров при доставке малогабаритных грузов беспилотными летательными аппаратами к месту назначения на ограниченных территориях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ видов беспилотных летательных аппаратов (БЛА), их преимуществ и недостатков; анализ некоторых типов датчиков, их особенностей, характеристик, преимуществ и недостатков; анализ способов навигации и их недостатков. Из результатов анализа сделаны выводы: для доставки грузов на небольших ограниченных территориях, наиболее подходящим видом БЛА является квадрокоптер, обладающий простотой конструкцией, высокой манёвренностью и возможностью работы в режиме зависания; наиболее подходящими по своим функциональным возможностям датчиками БЛА по распознаванию объектов, измерению дальности и обходу препятствий являются датчики и их комбинации в составе: датчика для инерциальных измерений IMU, датчика для предотвращения столкновений и навигации RADAR, ультразвукового датчика и видеокамеры; для навигации БЛА инерциальная система навигации с дополнительным датчиком изображения является наиболее подходящим решением благодаря автономной навигационной возможности, низкой цене и слабой зависимости от факторов окружающей среды.

2. Изучены модели видеокамер, источники искажений изображений, методы стабилизации изображений, а также методы обработки изображений: фильтрации, сглаживания и сегментации. В результате было установлено, что: видеокамеры, используемые в БЛА для получения видеоизображения, вносят тангенциальное и радиальное искажение, которые должны компенсироваться предварительной калибровкой видеокамеры; для снижения влияния вибрации, возникающей при работе БЛА, и получения качественных изображений необходимо использовать цифровую стабилизацию, не требующую использования сложных механических элементов, увеличивающих общий вес БЛА и, соответственно, снижающих вес полезной нагрузки, которая имеет более высокую скорость реакции, чем у оптического стабилизатора и позволяет увеличить чувствительность светопоглощающих элементов; для улучшения качества изображений, полученных видеокамерой БЛА, необходимо использовать такие методы предварительной обработки как морфологическую фильтрацию и метод Гауссова сглаживания для удаления помех, а также метод подчёркивания границ с использованием оператора Собеля и методы сегментации изображения для увеличения контраста интересующих частей изображения.

3. Обоснованы, выбраны и изучены инструменты разработки алгоритма обработки изображений (язык программирования и библиотека). Изучены типы маркеров для обнаружения места посадки БЛА. Для устранения шума в изображении и сегментации объектов изображения, в

ходе экспериментов были объединены некоторые методы обработки изображений. Предложен новый простой метод извлечения структуры объекта для распознавания маркера, разработан алгоритм распознавания маркера и пользовательский интерфейс для отладки алгоритма. Для разработки алгоритма обработки изображения были использованы язык программирования Python и библиотека OpenCV, благодаря тому, что их относительная простота позволяет минимизировать время разработки алгоритма. Для обеспечения простоты алгоритма и высокой скорости его выполнения, для маркировки места посадки БЛА был выбран маркер ArUco. Благодаря простой структуре маркера ArUco, процесс его обработки будет достаточно простым и быстрым. Алгоритм распознавания маркера разработан путем объединения алгоритмов стабилизации, фильтрации, сегментации, выделения контуров. Кроме этого, для повышения точности процесса распознавания маркера был применен метод извлечения структуры «Block-Binary-Pixel-Sum Features».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в сборниках научных трудов

1. Алефиренко, В. М. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для решения задач по доставке грузов на ограниченной территории / В. М. Алефиренко, Ф. Ч. Нгуен // Технические науки – от теории к практике : сборник публикаций научного журнала «Globus» по материалам XXXXIII Междунар. науч. практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 19 мая 2019 г.) / редкол.: В. П. Максимов [и др.]. - С-П. : Научный журнал «Globus», 2019. – С. 59 – 69.

2. Алефиренко, В. М. Алгоритм обработки цифровых меток для доставки грузов на ограниченной территории беспилотными летательными аппаратами / В. М. Алефиренко, Ф. Ч. Нгуен // Технические науки: сборник публикаций научного журнала «Danish Scientific Journal» №34/2020, 2019. – С. 51 – 57.

Тезисы конференций

3. Нгуен Ч. Ф. Мобильная интеллектуальная система видеонаблюдения с управлением по сети интернет / Нгуен Ч. Ф. // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем: сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 23–27 апреля 2018 года) / отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск : БГУИР, 2018. – С.89 – 90.

4. Алефиренко, В. М. Мобильная система видеонаблюдения / В. М. Алефиренко, Ч. Ф. Нгуен // Технические средства защиты информации : тезисы докладов XVI Белорусско-российской научно – технической конференции, Минск, 5 июня 2018 г. – Минск: БГУИР, 2018. – С. 13.

5. Нгуен, Ч. Ф. Компоновочные схемы беспилотных летательных аппаратов / Нгуен Ч. Ф. // Электронные системы и технологии : 55-я юбилейная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019

г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 190 – 191.

6. Алефиренко, В. М. Использование беспилотных летательных аппаратов для доставки почты / Алефиренко В. М., Нгуен Ф. Ч. // Современные средства связи: материалы XXIV Международной научно-технической конференции, Минск, 17 – 18 октября 2019 г. / Белорусская государственная академия связи; редкол. : А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2019. – С. 95 – 96.

7. Нгуен, Ч. Ф. Цифровые метки, используемые для доставки грузов на ограниченной территории беспилотными летательными аппаратами / Нгуен Ч. Ф. // Электронные системы и технологии : 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 18-20 мая 2020 г. : сборник тезисов докладов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2020. – С. 492 – 493.

Библиотека БГУИР

РЭЗІЮМЭ

Нгуен Чонг Фыонг

Метады і алгарытмы апрацоўкі малюнкаў ў сістэмах тэхнічнага гледжання квадрокоптеров для дастаўкі грузаў

Ключавыя словы: алгарытм апрацоўкі, лічбавыя пазнакі, беспілотныя лятальныя апараты (БЛА), дастаўка грузаў.

Мэта работы: стварэнне сістэмы апрацоўкі малюнкаў для квадрокоптеров з мэтай выяўлення тыпавых маркераў, з дапамогай якіх квадрокоптеры могуць вызначыць дакладнае месца пасадкі пры рашэнні задачы дастаўкі туды грузаў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: выкарыстанне датчыка выявы ў якасці дадатковай меры для павышэння дакладнасці традыцыйных навігацыйных метадаў, якія выкарыстоўваюцца для арыентацыі БЛА; быў распрацаваны алгарытм распазнавання маркера, прызначанага для вызначэння месца пасадкі БЛА пры дастаўцы грузаў на абмежаванай тэрыторыі.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» у навучальны курс "Метады і тэхнічныя сродкі забеспячэння бяспекі».

Вобласць ужывання: транспартная галіна, сістэма навігацыі.

РЕЗЮМЕ

Нгуен Чонг Фыонг

Методы и алгоритмы обработки изображений в системах технического зрения квадрокоптеров для доставки грузов

Ключевые слова: алгоритм обработки, цифровые метки, беспилотные летательные аппараты (БЛА), доставка грузов.

Цель работы: создание системы обработки изображений для квадрокоптеров с целью обнаружения типовых маркеров, с помощью которых квадрокоптеры могут определить точное место посадки при решении задачи доставки туда грузов.

Полученные результаты и их новизна: использование датчика изображения в качестве дополнительной меры для повышения точности традиционных навигационных методов, используемых для ориентации БЛА; был разработан алгоритм распознавания маркера, предназначенного для определения места посадки БЛА при доставке грузов на ограниченной территории.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Методы и технические средства обеспечения безопасности».

Область применения: транспортная отрасль, навигационная система.

SUMMARY
Nguyen Trong Phuong
Methods and algorithms for image processing
in quadcopter vision systems for cargo delivery

Keywords: processing algorithm, digital tags, unmanned aerial vehicles (UAV), cargo delivery.

The object of study: creation of an image processing system for quadcopters in order to detect typical markers with which quadcopters can determine the exact landing place when solving the problem of cargo delivery.

The results and their novelty: the use of an image sensor as an additional measure to improve the accuracy of traditional navigation methods used to orient the UAV; a marker recognition algorithm was developed to determine the UAV landing site when delivering goods in a limited area.

Degree of use: the results are embedded in the educational process at the Department of Designing Information and Computer Systems of the Educational Institution «Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics» in the training course «Methods and Technical Means of Ensuring Security».

Sphere of application: transport industry, navigation system.

Библиотека БГУИР