Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

June

Шишов Рихард Игоревич

# Модели взаимодействия беспилотных летательных аппаратов со статическими объектами в трехмерном пространстве

Направление подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

# АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук, доцент, декан «факультета компьютерных технологий» Григорьев Ян Юрьевич

Рецензент:

кандидат физико-математических наук, Севастьянов Георгий Мамиевич, старший научный сотрудник Лаборатории проблем создания и обработки материалов и изделий ФГБУН ИМиМ ДВО РАН

Защита состоится 25 июня 2019 года в 9 часов 50 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 321/3.

Автореферат разослан 17 июня 2019 г.

Секретарь ГЭК

*fh* - Ю.Г. Егорова

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

*Актуальность темы.* В настоящее время беспилотные летательные аппараты активно используются для решения различных задач – технологических, охранных, поисково-спасательных, в том числе межотраслевых. При управлении беспилотным летательным аппаратом возникают проблемы взаимодействия со статическими объектами в особенности, когда он находится в автономном режиме управления. Требуются математические алгоритмы, позволяющие эффективно осуществлять распознание рельефа местности, с целью определения препятствий и выбора траектории движения.

*Целью* данной работы является разработка алгоритмов и их автоматизация, позволяющая на основе потоков информации, поступающих с сенсоров летательного аппарата вычислять глубину пространства (расстояния до объектов) и при наличии препятствий определять траекторию их облёта.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- Построение карты глубин (массив точек, содержащих в себе информацию о расстояниях до объектов) с помощью устанавливаемых на БПЛА датчиков, формирующих поток данных об окружающем пространстве;

 Определение траектории облёта препятствий на основе анализа карты глубин;

- разработка программно-аппаратного комплекса на основе полученных соотношений.

Объектом исследования являются модели определения глубин пространства и алгоритмы определения траектории движения беспилотных аппаратов в пространстве.

Предметом исследования является система, позволяющая на основе поступающей информации об окружающем пространстве, определять его глубину и выбирать траекторию облёта статических препятствий.

3

#### Научная новизна исследования

- В работе рассматривается подход к управлению беспилотным летательным аппаратом с ограниченным набором сенсоров, на основе потоков графической информации с камер, без использования дополнительного оборудования.

- Для разработки автоматизированного комплекса используется компилируемый язык программирования, позволяющий увеличить быстродействие системы по сравнению с интерпретируемыми языками, которые использовались другими разработчиками для решения отдельных задач, входящих в разрабатываемую систему.

#### Достоверность и обоснованность результатов исследования.

Основные положения и выводы, полученные в диссертации, обоснованы, аргументированы и подтверждены экспериментально в лабораторных условиях на основе анализа многократно полученных данных с созданного прототипа устройства. Разработанное программное обеспечение тестировалось как на реальном оборудовании, так и с помощью средств виртуализации.

Практическая значимость заключается в построении модели, позволяющей беспилотному летательному аппарату, без участия человека, автономно оценить глубину окружающего пространства и вычислить траекторию облёта статических препятствий, в случае их нахождения на пути полёта.

#### Апробация результатов

Результаты работы докладывалась на:

 48-ой научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научнотехническое творчество аспирантов и студентов», Комсомольск-на-Амуре, апрель 2018 г.

– 2-ой Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований», Комсомольск-на-Амуре, апрель 2019 г.

#### Публикации

– Шишов, Р. И. Модели взаимодействия БПЛА со статическими объектами в трёхмерном пространстве / Р. И. Шишов, Я. Ю. Григорьев // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов : материалы всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспир., Комсомольск-на-Амуре, 9-20 апр. 2018 г. Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. Ч. 2. – С. 257-259.

– Шишов, Р. И. Разработка модели определения глубины пространства для задач детектирования препятствий БПЛА / Р. И. Шишов, Я. Ю. Григорьев // Сборник материалов конференции : 2-ая всерос. национальная науч. конф. студентов, аспир. и молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований», Комсомольск-на-Амуре, 8-12 апр. 2019 г.

Структура и объем.

Магистерская диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Объем работы – 75 страниц, в том числе 27 рисунков, 3 таблиц и 2 приложения.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Введение* раскрывает актуальность темы, определяются цели и задачи исследования, объект, предмет, указываются научная новизна, практическая значимость, достоверность и обоснованность результатов исследования.

*В первой главе* производится оценка современных датчиков, позволяющих сформировать поток данных характеризующих состояние окружающего пространства.

Выделяются основные существующие типы датчиков для получения информации об окружающем пространстве: светодиодные, лазерные (лидары), ультразвуковые (сонары) и оптические системы видимого спектра (стерео- и монокамеры).

Анализ датчиков показывает, что эффективным способом получения достаточного объёма информации для формирования траектории полёта беспилотного летательного аппарата является использование стереокамеры. Данный инструмент является доступным и может использоваться на беспилотных летательных аппаратах различного типа.

5

В качестве экспериментального образца в работе представлен прототип стереокамеры – две идентичные usb-web камеры Logitech C270, жестко закрепленные горизонтально на платформе.



Рисунок 1 – Горизонтальная «стереокамера»

Технические характеристики камер:

Тип матрицы: CMOS;

Число мегапикселей матрицы: 1.3 МП;

Разрешение (видео): 1280х720;

Максимальная частота кадров: 30 кадр/с;

Фокусировка: фиксированный фокус от 40 см.;

Угол обзора: 60 град.;

Интерфейс: подключения: USB 2.0.

Во второй главе описывается модель формирования карты глубин с помощью стереозрения. На рисунке 2 представляется система, состоящая из двух камер (рисунок 2), где С — центр левой камеры, С' — центр правой камеры. Точка пространства X проецируется в х на плоскость изображения (рассматриваются растровые изображения размером MxN пикселей) левой камеры и в х' на плоскость изображения правой камеры. Прообразом точки х на изображении левой камеры является луч хХ. Этот луч проецируется на плоскость правой камеры в прямую l', называемую эпиполярной линией. Образ точки X на плоскости изображения правой камеры обязательно лежит на эпиполярной линии l'.



Рисунок 2 – Проекция точки пространства на изображения с камер

Таким образом, каждой точке х на изображении левой камеры соответствует эпиполярная линия l' на изображении правой камеры. При этом пара для х на изображении правой камеры может лежать только на соответствующей эпиполярной линии. Аналогично, каждой точке х' на правом изображении соответствует эпиполярная линия l на левом.

Для построения карты глубин необходимо условие, чтобы для точки с координатами ( $x_0$ ,  $y_0$ ) с левого изображения соответствующая ей эпиполярная линия задавалась уравнением  $x = x_0$ . Тогда соответствующая парная точка на правом изображении ищется в строчке с тем же номером n, на котором лежит соответствующая точка с левого изображения. Для получения корректных данных проводится единожды процесс калибровки камер, определяется пространственное соответствие между двумя изображениями, обеспечивающее возможность сдвига только по оси x. Этапы процесса калибровки приведены на рисунке 3.

Захват стереокамерой шаблона калибровки с разных ракурсов (от 50 и более снимков)

Определение координат угловых точек на полученных снимках С помощью решения линейной системы уравнений составляются и приближенно решаются системы уравнений, связывающие координаты проекций, матрицы камер и положения точек шаблона в пространстве. Параметры сохраняются для дальнейшего использования

Рисунок 3 – Этапы калибровки стереокамеры

Выполняется поиск соответствующих пар точек. Для каждого пикселя левой картинки с координатами  $(x_0, y_0)$  выполняется поиск пикселя на правой картинке. Пиксель на правой картинке должен иметь координаты  $(x_0 - d, y_0)$ , где d — величина, называемая смещением (рисунок 4). В результате формируется карта глубин – двумерный массив размером MxN, где каждый элемент  $a_{i,j}$  содержит информацию о расстоянии от плоскости камеры до наблюдаемой точки в пространстве.



Рисунок 4 – Вычисление карты глубин

В *третьей главе* описывается общая математическая модель квадрокоптера и алгоритм выбора траектории облёта статических препятствий.

Ориентация квадрокоптера в неподвижной связанной с землей системе координат задаётся тремя параметрами: θ – угол тангажа, определяющий вращение вокруг оси у, φ – угол крена определяющий вращение вокруг оси х, ψ – угол рысканья определяющий вращение вокруг оси z.

Во время полёта беспилотного аппарата видеопоток с определённой частотой кадров поступает в программный блок для обработки и построения карты глубин. На рисунке 5 представлен алгоритм определения траектории облёта препятствий, основанный на анализе карты глубин.



Рисунок 5 – Алгоритм определения траектории облёта препятствий на основе анализа карты глубин беспилотным аппаратом

В четвёртой главе описывается процесс разработки программно-аппаратного комплекса. Для корректного построения карты глубин, разрабатывается программный узел usb-cam для получения видеопотока с камер и синхронизации во времени.

При получении карты глубин производится подбор и сохранение настроек влияющих на качество отображения карты глубин. На рисунке 6а) и 6б) представлен видеопоток с левой и правой камеры соответственно, а на рисунке 6в) получаемая карта глубин.



а) Изображение с левой ка- б) Изображение с правой в) Получаемая карта глубин камеры

Рисунок 6 – Видеопоток с обеих камер и получаемая карта глубин

Каждый пиксель карты глубин рассматривается в виде десятичного RGB кода, состоящий из вектора с 3-мя компонентами цвета – красный, зелёный, синий принимаемый значения в диапазоне от 0 до 255. Соответствие значения RGB кода и расстояния в метрической системе от плоскости камер до объекта представлено в таблице 1.

N⁰	Расстояние, м	Код RGB (r,g,b)	Градиент
1	1,44 - 1,64	(255,0,0) – (255, 235,0)	
2	1,64 - 1,92	(255, 235,0)–(15,255,0)	
3	1,92 - 2,32	(15, 255,0)–(0,255, 245)	
4	2,32 - 2,92	(0,255, 245) – (2,2,255)	
5	2,92 - 3,84	(2,2,255) - (53,0,255)	
6	3,84 - 4,64	(53,0,255) - (83, 0, 125)	

Таблица 1 – соответствие RGB кода и расстояния.

Согласно таблице 1 видно, что градиент сине-фиолетового цвета обозначает дальнее расстояние объектов от плоскости камеры, а красного – близкое расстояние.

С целью определения точности построения карты глубин с прототипа стереокамеры производится съёмка в лаборатории – определяется расстояние до различных объектов. Полученные результаты сравниваются с данными лазерного дальномера CONDTROL Smart 40 имеющего погрешность измерения ±1.5 мм. Относительная погрешность всех измерений не превышает 3.1%, что показывает достоверность получаемых результатов.

На рисунке 6в) на карте глубин виден серый цвет – это «помехи», зоны в которых из-за однотонности области сцены невозможно подобрать парную точку на втором изображении получаемой с камеры, для расчёта смещения. С целью устранения этих зон, был разработан алгоритм сглаживания, который закрашивает построчно данные области, анализируя соседние пиксели.

Для выполнения задачи выбора траектории облёта препятствий с целью минимизации проводимых вычислений, необходима предварительная обработка карты глубин. Разрабатываемое программное обеспечение в соответствии с таблицей 1 на карте глубин выделяет 6 областей, №1-2 объединяются – критическая область, №3, №4 №5 №6. Все области обозначаются в соответствующий характерный цвет, в зависимости от их дальности.

На рисунке 7 приводится функциональная блок-схема, описывающая этапы работы разработанного программно-аппаратного комплекса.



Рисунок 7 – Этапы работы программно-аппаратного комплекса

Пример обработанной карты глубин программным обеспечением представлен на рисунке 8. На рисунке 9 представлен снимок окна программы, с выводом результата после обработки и анализа карты глубин.



а) Изображение с камеры



необработанная карта в) Обработанная карта глубин б) глубин

Рисунок 8 – Обработанная и необработанная карта глубин



Рисунок 9 – Результат работы программного обеспечения

Алгоритм облёта препятствий беспилотным аппаратом, приведённый на рисунке 4 реализован и успешно протестирован в виртуальной среде Gazebo в смоделированной городской среде на модели квадрокоптера Parrot Ar.Drone 2.0 с прикреплённой в носовой части стереокамеры.

В заключении подводятся основные итоги исследований, проводится анализ полученных результатов.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

– Шишов, Р. И. Модели взаимодействия БПЛА со статическими объектами в трёхмерном пространстве / Р. И. Шишов, Я. Ю. Григорьев // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов : материалы всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспир., Комсомольск-на-Амуре, 9-20 апр. 2018 г. Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. Ч. 2. – С. 257-259.

– Шишов, Р. И. Разработка модели определения глубины пространства для задач детектирования препятствий БПЛА / Р. И. Шишов, Я. Ю. Григорьев // Сборник материалов конференции : 2-ая всерос. национальная науч. конф. студентов, аспир. и молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований», Комсомольск-на-Амуре, 8-12 апр. 2019 г.