Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук, профессор
_____ И.В. Самохвалов
подпись
«18» 06 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЕЛЬЕФА НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА БАЗЕ ПАССИВНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

по направлению подготовки 12.04.02 Оптотехника
направленность (профиль) «Оптические и оптико-электронные приборы»

Кукель Сергей Александрович

Руководитель ВКР
д-р техн. наук, профессор
_____ В.Т. Калайда
подпись
«17» 06 2021 г.

Автор работы
студент группы № 071952
_____ С.А. Кукель
подпись
«17» 06 2021 г.

Томск – 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Радиофизический факультет
Кафедра оптико-электронных систем и дистанционного зондирования (ОЭСиДЗ)

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук, профессор
_____ И.В. Самохвалов
подпись
«18» 09 2019 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы бакалавра / специалиста /магистра
обучающемуся Кукель Сергей Александрович.
Фамилия Имя Отчество обучающегося
по направлению подготовки 12.04.02 Оптотехника, направленность (профиль) «Оптические и оптико-электронные приборы»
1 Тема выпускной квалификационной работы
Восстановление рельефа нижней границы облачной поверхности на базе пассивного зондирования

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:
а) в деканат – июнь 2021 г. б) в ГЭК – июнь 2021 г.
3 Исходные данные к работе:
Объект исследования - Метод пассивного зондирования
Предмет исследования - метод восстановления рельефа нижней границы облачной поверхности
Цель исследования – Разработка метода восстановления рельефа нижней границы облачной поверхности методом пассивного зондирования с приемлемой точностью
Задачи:
1) Анализ - обзор литературы. 2) выбор и обоснование метода оценки НГО 3) Анализ методик поиска сопряж. точек 4) Разработка структ. системы 5) Реализация и тест системы
Методы исследования:
Анализ, тестирование

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа, -
НИ ТГУ
4 Краткое содержание работы
Разработка алгоритма восстановления облачной поверхности и реализация программной системы

Руководитель выпускной квалификационной работы
Профессор, НИ ТГУ _____ В.Т. Калайда
должность, место работы подпись

Задание принял к исполнению
студент группы № 071952 _____ С.А. Кукель
подпись

АННОТАЦИЯ

Ключевые слова: стереометрия, стереоскопический базис, сопряженные точки, параллакс, диспарантность.

Актуальность темы работы: Задачи построения рельефа нижней границы облачной поверхности и её измерения тесно связаны с проблемами безопасности авиасообщений, возможностями прогноза погоды, контроля экологического состояния атмосферы и т.п.

Методы измерения высоты нижней границы облачности (НГО) имеют свои преимущества и недостатки. Выбор того или иного метода зависит от многих факторов, в числе которых требуемая точность получаемых данных о высоте НГО, непрерывность производства измерений, энергопотребление, допустимые габариты, стоимость используемого оборудования и др.

Активные дистанционные методы определения высоты НГО имеют более высокую, по сравнению с пассивными методами, точность измерений, и меньшую зависимость от погодных условий.

Пассивные методы, в свою очередь, имеют преимущества по таким параметрам, как простота технической реализации, меньшие массогабаритные показатели применяемых измерителей, низкое, по сравнению с активными методами, энергопотребление и, как следствие этого, более высокую надежность.

Объект исследования: метод пассивного зондирования.

Предмет исследования: метод восстановления рельефа нижней границы облачной поверхности.

Цель: разработка метода восстановления рельефа нижней границы облачной поверхности методом пассивного зондирования с приемлемой точностью для практического использования.

Результаты работы: разработан алгоритм восстановления поверхности и реализована программная система, которая обеспечивает вычисление сопряженных точек и восстановление НГО с погрешностью не более 10%.

Работа выполнена на 42 страницах; состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованных источников из наименований и 2 приложений; содержит 7 рисунков, 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..5
1 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ И ЕЁ РЕЛЬЕФА 7
1.1 Оценка нижней границы облачности, основанные на методах активного зондирования 7
1.2 Оценка нижней границы облачности, основанные на методах пассивного зондирования 11
1.3 Стереометрический метод 15
1.4 Выводы по разделу 19
2 АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ И ЕЁ РЕЛЬЕФА 24
2.1 Алгоритм вычисления нижней границы облачности 24
2.2 Технология определения сопряженных точек 25
2.3 Оценка погрешности восстановления высоты нижней границы облачности из-за неточности определения сопряженных точек 26
2.4 Выводы по разделу 26
3 РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА И ПРОГРАММА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ 28
3.1 Обоснование среды реализации программной системы 28
3.2 Разработка структуры программы, её описание 28
3.3 Разработка программы взаимодействия 30
3.4 Диаграмма классов 33
3.5 Результаты тестирования 35
3.6 Выводы по разделу 36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 39
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 41
ПРИЛОЖЕНИЕ А 43
ПРИЛОЖЕНИЕ Б……..44

ВВЕДЕНИЕ

Задачи построения рельефа нижних границ облачной поверхности и её измерения тесно связаны с проблемами безопасности авиасообщений, возможностями прогноза погоды, контроля экологического состояния атмосферы и т.п.

Методы измерения высоты нижней границы облачности имеют свои преимущества и недостатки. Выбор того или иного метода зависит от многих факторов, в числе которых требуемая точность получаемых данных о высоте нижней границы облачности (НГО), непрерывность производства измерений, энергопотребление, допустимые габариты, стоимость используемого оборудования и др.

Активные дистанционные методы определения высоты НГО имеют более высокую, по сравнению с пассивными методами, точность измерений, и меньшую зависимость от погодных условий.

Пассивные методы, в свою очередь, имеют преимущества по таким параметрам, как простота технической реализации, меньшие массогабаритные показатели применяемых измерителей, низкое, по сравнению с активными методами, энергопотребление и, как следствие этого, более высокую надежность.

Таким образом, можно сделать вывод, что идеального метода измерения нижней границы облачности не существует и в каждом случае необходимо выбирать тот или иной метод исходя из погодных условий и поставленной задачи.

Поэтому задача разработки пассивного метода зондирования НГО, имеющего низкое энергопотребление и приемлемую, относительно активных методов, точность, остается актуальной.

Объектом исследования являются методы пассивного зондирования.

Предмет исследования — это метод восстановления рельефа нижней границы облачной поверхности.

Проблемная ситуация: погрешность параллакса метод нахождения сопряженных точек.

Цель: разработка метода восстановления рельефа нижней границы облачной поверхности методом пассивного зондирования с приемлемой точностью для практического использования.

Задачи:

1) Аналитический обзор литературы по теме исследований.

2) Выбор и обоснование метода оценки высоты нижней границы облачности и оценки её профиля.

3) Анализ методик поиска сопряжённых точек, обоснование критерия выбора.

4) Разработка структуры системы вычисления высоты нижней границы облачности и восстановления её профиля.

5) Реализация и тестирование системы, оценка её метрологических характеристик.

Защищаемое положение:

Алгоритм вычисления высоты облачной поверхности по стереоснимкам, в котором реализован поиск точек по критериям индекса структурного сходства (SSIM) и обеспечивающий вероятность нахождения от 0,9 и выше.

Публикации:

1) Kukel S. Method for finding conjugate points in a system of stereometric measurements // German International Journal of Modern Science. - 2021. - №10. - С. 21-23.

1 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ И ЕЁ РЕЛЬЕФА

1.1 Оценка нижней границы облачности, основанные на методах активного зондирования

Одним из первых среди активных методов определения высоты НГО был прожекторный метод. В нем в качестве носителя информации используется световой луч, сформированный с помощью мощного источника света. Луч прожектора направляют вертикально вверх и с расстояния 150-500 м, называемого базой, измеряют угол наблюдения светового пятна. Затем, методом триангуляции по формуле (1.1) [1]

$$h = s * tg\ a, \tag{1.1}$$

где s – расстояние от прожектора до угломерного устройства, м;

α – угол, под которым виден центр светового пятна на облаке, град; или по таблицам для определения высот облаков, определяют высоту нижней границы облачности.

Плюсами данного метода являются простота технической реализации и достаточная точность измерений. Из минусов можно выделить зависимость от погодных условий, большие габариты измерителя и большое энергопотребление.

На смену прожекторному методу появился, и до сих пор имеет широкое применение, светолокационный метод, заключающийся в измерении временного промежутка, пропорционального удвоенной высоте НГО, между моментами излучения и приема отраженного от облака светового импульса по формуле (1.2)

$$h = \frac{c\tau}{2}, \tag{1.2}$$

где c – скорость света, м/с;

τ – время, с.

Передатчик посылает световые импульсы с частотой от 1 до 20 Гц, создаваемые импульсной лампой, вертикально вверх. Приемник, расположенный на расстоянии 8-12 м от передатчика, принимает отраженный световой импульс. В качестве чувствительного элемента обычно используют фотоэлектронный умножитель.

Радиолокационный метод в настоящее время является наиболее эффективным для получения различной метеорологической информации, связанной с облачностью. Различают активную метеорологическую радиолокацию с использованием переизлучения и пассивную с использованием собственного излучения (теплолокация). Кроме информации о высоте нижней границы облачности, радиолокационный метод позволяет определять пространственное распределение облаков, их водность, а также пространственное распределение осадков и их интенсивность. Принцип радиолокации заключается в регистрации излучаемой или переизлучаемой метеорологическим объектом электромагнитной энергии в диапазоне СВЧ. Например, метеорологический радиолокатор МРЛ-5 работает на двух каналах с частотами колебаний 9595 и 2950 МГц. Характеристики принятого сигнала зависит от расстояния до объекта и от его свойств. Применяя активную радиолокацию достаточно просто определить расстояние до объекта, т.к. скорость распространения электромагнитного излучения является известной величиной.

Физические принципы лидарного метода (LIDAR – LIght Detection And Ranging) аналогичны активному радиолокационному методу и отличаются от последнего длинами волн электромагнитного излучения (от видимого до ИК диапазона) и малым углом расходимости излучаемой энергии. Отраженный от облака световой импульс, излучаемый оптическим квантовым генератором через объектив передатчика, принимается ФЭУ. Полученный интервал времени, необходимый световому импульсу для прохождения прямого и

обратного расстояния между измерителем и НГО, переводится в информацию о высоте облачности.

Принцип работы спутникового метода измерения высоты НГО основан на измерении высоты верхней границы облачности (или отдельных облаков) с по следующим вычитанием толщины облачности. Первый параметр получается путем сопоставления углов наблюдения верхней границы облачности с нескольких спутников. Для получения второго параметра используются различные приборы как наземного, так и спутникового базирования.

Таблица 1.1 - Преимущества и недостатки активных методов измерения высоты НГО

№	Название метода	Преимущества	Недостатки
1	Прожекторный метод	1. Простота технической реализации метода. 2. Достаточная точность измерений.	1. Зависимость от погодных условий 2. Субъективность определения точки измерения и угла наблюдения. 3. Значительный территориальный разброс передатчика и приемника. 4. Большие габариты измерителя. 5. Большое энергопотребление измерителя.

Продолжение таблицы 1.1

2	Радиолокационный метод	1. Всепогодность измерений. 2. Круглосуточность измерений. 3. Высокая точность измерений. 4. Непрерывность измерений. 5. Многоточечность измерений. 6. Измерение многослойной облачности	1. Высокая стоимость измерителя. 2. Большие габариты измерителя. 3.Большое энергопотребление измерителя.
3	Лидарный метод	1. Большое пространственное разрешение измерений. 2. Круглосуточность измерений. 3. Многоточечность измерений.	1. Высокая стоимость измерителя. 2. Зависимость точности измерения высоты НГО от точности определения толщины облачности
4	Спутниковый метод	1. Большое пространственное разрешение измерений. 2. Круглосуточность измерений. 3. Всепогодность измерений. 4. Многоточечность измерений.	1. Высокая стоимость измерителя. 2. Зависимость точности измерения высоты НГО от точности определения толщины облачности.

1.2 Оценка нижней границы облачности, основанные на методах пассивного зондирования

Морфологический метод определения высоты НГО относится к пассивным методам и базируется на анализе формы и количества облаков. Первая морфологическая классификация была разработана в 1803 г. английским метеорологом Люком Ховардом (Luke Howard) и до настоящего времени лежит в основе современной международной классификации облаков. Морфологическая классификация включает в себя 10 основных форм (родов) облаков, которые в свою очередь разделяются на ряд видов и разновидностей. Основным отличительным признаком при определении формы облаков является их внешний вид и структура. Облака могут располагаться в виде отдельных изолированных масс или сплошного покрова. Их строение может быть однородным, волокнистым, туманообразными и др., а нижняя поверхность — ровной, расчлененной или изорванной. Кроме того, облака могут быть плотными и непрозрачными или тонкими просвечивающими. Все эти признаки характеризуют форму и внешнее строение облаков. По высоте своей нижней границы облака делятся на 4 семейства:

– облака верхнего яруса, располагающиеся на высотах более 6 км;

– облака среднего яруса, располагающиеся на высотах от 2 до 6 км;

– облака нижнего яруса, располагающиеся на высотах до 2 км;

– облака вертикального развития, основания которых располагаются на высоте облаков нижнего яруса, а вершины - на высоте облаков среднего или верхнего ярусов.

Сущность морфологического метода заключается в определении диапазона высот нижней границы облачности, на которых может располагаться определяемый по приведенным в атласе описаниям и фотографиям тип наблюдаемых облаков.

Также к пассивным относится метод оценки высоты НГО по минимальным уровням конденсации, использующий эмпирические формулы

(1.3), полученные в разное время У. Феррелем, А.Н. Ипполитовым, Д. Л. Лайхтманоми др. Известна формула У. Ферреля

$$H(m) = 122 \times (t\text{-}td), \qquad (1.3)$$

где $H(m)$ – высота НГО, м;

t – температура воздуха, °С;

td – точка росы, °С.

Разность температуры воздуха и точки росы называется дефицитом точки росы, поэтому метод часто называется методом дефицита точки росы. Оба параметра измеряются в градусах Цельсия на метеостанции в психрометрической будке на высоте 2 м над поверхностью земли.

Принцип работы бистатического метода заключается в том, что, наблюдая один и тот же фрагмент облачности с двух пространственно разнесенных оптико-электронных приемников, вычисляют углы визирования (или отклонения от вертикали) и методом триангуляции вычисляют высоту наблюдаемого фрагмента облачности.

Шаропилотный метод измерения высоты НГО относится к пассивным методам определения высоты НГО и применяется при балле облачности от 5-ти до 10-ти (для максимального исключения вероятности попадания шар-пилота в просвет между облаками). Может применяться как визуальное определение момента исчезновения видимости шар-пилота с помощью теодолита, так и с помощью специальных облакомеров, закрепленных на шар-пилоте, и работающих на фотоэлектрическом или электротехническом принципах.

Для этого шар-пилот наполняют гелием или водородом, определяют его вертикальную скорость подъема (порядка 325-ти м/мин) и отпускают в свободный полет. Замеряя с помощью секундомера время, которое требуется шар-пилоту для достижения облачности, определяют высоту НГО по формуле (1.4)

$$h = v\tau, \quad (1.4)$$

где v – вертикальная скорость шар-пилота, м/с;

τ – время, с.

В зависимости от силы ветра, высоты и вида облаков, могут применяться темные и светлые оболочки шаров-пилотов объемом 10, 20 или 30 л. Для наблюдения в темное время суток к шар-пилоту прикрепляют небольшой источник света.

Таблица 1.2 - Преимущества и недостатки пассивных методов измерения высоты НГО

№	Название метода	Преимущества	Недостатки
1	Морфологический метод	Не требует специального оборудования.	1. Субъективность определения типа облачности. 2. Низкая точность измерений (определяется диапазон высот). 3. Дневной метод измерений.
2	Метод определения дефицита точки росы	1. Простота технической реализации метода. 2. Круглосуточность измерений.	1. Низкая точность измерений

Продолжение таблицы 1.2

3	Бистатический метод	1. Отсутствие излучателя. 2. Простота технической реализации метода. 3. Непрерывность измерений. 4. Многоточечность измерений.	1. Значительный территориальный разброс фотоприемников. 2. Субъективность определения точки измерения.
4	Шаропилотный метод	1. Простота технической реализации метода. 2. Измерение многослойной облачности.	1. Зависимость от погодных условий (осадки, туман, сильная дымка, ветер, наличие разорванной или малой облачности). 2. Субъективность определения момента достижения НГО (при визуальном контроле). 3. Малая поднимаемая масса приборов (не более 900 грамм) (при радиозондировании). 4. Необходимость проведения предварительной операции газонаполнения непосредственно перед запуском шар-пилота.
5	Стереоскопический метод	1. Отсутствие излучателя. 2. Простота технической реализации. 3. Непрерывность измерений. 4. Многоточечность измерений.	1. Значительный территориальный разброс фотоприемников. 2. Субъективность определения точки измерения.

1.3 Стереометрический метод

Суть стереоскопического метода заключается в следующем: для каждой точки на одном изображении выполняется поиск парной ей точки на другом изображении; по паре соответствующих точек можно выполнить триангуляцию и определить координаты их прообраза в трехмерном пространстве; зная трехмерные координаты прообраза, глубина вычисляется как расстояние до плоскости камеры. Для каждого пикселя левого изображения с координатами ($x0$, $y0$) выполняется поиск пикселя на правом изображении. При этом предполагается, что пиксель на правом изображении должен иметь координаты ($x0-d$, $y0$), где d - величина смещения камер друг относительно друга. В результате получается изображение глубины [2].

Другой предлагаемый метод измерения расстояния до объекта основан на принципах фотограмметрии и корреляционной обработке цифровых изображений стереопары. Получение информации о дальности заключается в регистрации нескольких изображений объектов под различными ракурсами.

Если расстояние между камерой и наблюдаемой сценой значительно превышает фокусное расстояние оптической системы, можно считать, что изображение строится в ее фокальной плоскости. В проективной модели камеры (рисунок 1.1) изображение трехмерного объекта получается его проектированием в фокальную плоскость.

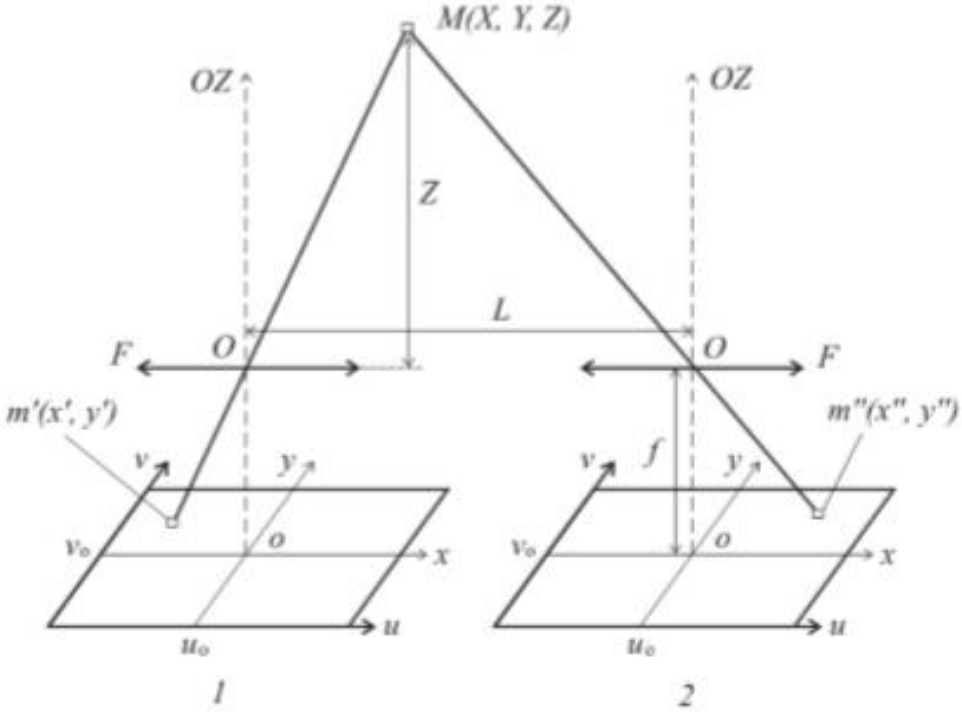

Рисунок 1.1 - Схема восстановления оценки высоты нижней границы облачности и её профиля

Проекция точки трехмерного пространства M с координатами (X, Y, Z), где Z – расстояние, является точка m с координатами (x, y), при этом выполняются следующие соотношения:

$$x = \frac{fX}{Z}\, y = \frac{fY}{Z} \tag{1.5}$$

где f - фокусное расстояние оптической системы (камеры).

В результате многочисленных вычислений приходят к результату, что дальность до объекта Z из геометрии изображений определяется соотношением:

$$Z = \frac{fL}{x' - x''} \tag{1.6}$$

где L – величина базы (расстояние между оптическими осями камер),

x' и x'' – координата объекта в плоскости изображения на правом и левом снимках стереопары соответственно, а их разность - смещение объекта в плоскости изображения на первом и втором снимках стереопары соответственно.

Рассмотренные два метода обеспечивают высокую точность измерений, отсутствие механических составляющих и устройств радарного принципа работы позволяет быстро и эффективно рассчитывать расстояние до объекта и другие параметры сцены.

В формуле (1.6) можно заметить, что величина Z обратно пропорционально ошибке *dL*. Чем больше ошибка в величине *dL*, тем больше ошибка в величине D. И так как величина базы очень большая, то система контроля за L должна быть очень надежной.

Центральной проблемой метода и компьютерного стереозрения в целом является поиск сопряженных точек. И задача автоматизированного поиска сопряженных точек состоит в следующем: на одном изображении выбрана точка, являющейся проекцией некоторой точки M трехмерного пространства, необходимо на втором изображении найти точку – проекцию той же точки. Решение этой задачи связано с разрешением двух проблем. Первая, где на втором изображении искать сопряженную по координатам первой точки? Вторая, что будет использоваться в качестве критерия «схожести» точек?

Естественным критерием «схожести» точек является «величина» пиксела изображения в анализируемой точке. В настоящее время используется большое оценки мер близости точек:

– Метрика MSE:

$$MSE = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \left| x'_{i,j} - x''_{i,j} \right|, \qquad (1.7)$$

где m, n – размеры окна поиска;

– Метрика PSNR:

$$PSNR = 10\lg\left(\frac{MAX_i^2}{MSE}\right), \quad (1.8)$$

где MAX_i – максимальное значение, принимаемое пикселем изображения и т.п.

Подобные меры подходят для сравнения изображений в целом, но не позволяет сделать выводов о том, насколько хорошо данные метрики решает задачу поиска сопряжённых точек.

Наиболее приемлемым и простым в реализации из мер близости является локальный бинарный шаблон.

Локальный бинарный шаблон (ЛБШ) представляет собой описание окрестности пикселя изображения в двоичном представлении. Базовый оператор ЛБШ, применяемый к пикселю изображения, использует восемь пикселей окрестности, принимая значение интенсивности центрального пикселя в качестве порога. Пиксели со значением интенсивности большим или равным значению интенсивности центрального пикселя принимают значения равные «1», остальные принимают значения равные «0». Таким образом, результатом применения базового оператора ЛБШ к пикселю изображения является восьмиразрядный бинарный код, который описывает окрестность этого пикселя [3].

Безусловным плюсом ЛБШ является скорость и простота реализации. Основным недостатком этой меры является тот факт, что в кодировании пикселя используются относительные (разностные) значения пикселей и не учитываются их абсолютные значения.

От отмеченных выше недостатков избавлен метод поиска сопряженных точек называется индексом структурного сходства или SSIM. SSIM – индекс — это метод полного сопоставления.

Отличительной особенностью метода является то, что метод учитывает «восприятие ошибки» благодаря учёту структурного изменения информации.

Данные зависимости несут важную информацию о структуре объектов и о сцене в целом.

SSIM метрика рассчитана на различные размеры окна. Разница между двумя окнами *x* и *y* имеющими одинаковый размер N×N:

$$SSIM\left(x,y\right)=\frac{\left(2\mu_x\mu_y+c_1\right)\left(2\sigma_{xy}+c_2\right)}{\left(\mu_x^2+\mu_y^2+c_1\right)\left(\sigma_x^2+\sigma_y^2+c_2\right)}, \quad (1.9)$$

где*:* μ_x – среднее *x*;

μy – среднее *y*

σ_x^2 – дисперсия *x*;

σ_y^2 – дисперсия *y*;

σ_{xy} – ковариация *x* и *y*;

$c_1 = (k_1L)^2$,

$c_2 = (k_2L)^2$ – две переменных: *L* – динамический диапазон пикселей;

$k_1 = 0{,}01$ и $k_2 = 0{,}03$ – константы.

Полученный SSIM - индекс лежит в пределах от −1 до +1. Значение +1 достигается только при полной аутентичности образцов. Метрика рассчитана на окно размером 8×8 пикселей, но его можно регулировать в зависимости от требуемой времени работы алгоритма. Окно может смещаться через пиксель, но специалисты рекомендуют использовать группы окон для уменьшения сложности вычислений [4].

Метод SSIM (индекс структурного сходства) сложнее в реализации, чем метод локального бинарного шаблона, но позволяет проводить поиск сразу по трем параметрам: яркости, контрасту и структуре. Тогда как ЛБШ проводит поиск лишь по структурному параметру, поэтому уступает в точности.

1.4 Выводы по разделу

Первая глава посвящена существующим активным и пассивным методам определения высоты нижней границы облачности. Даны физико-

математические основы. Среди активных методов приведены прожекторный, радиолокационный, лидарный и спутниковый.

В нем в качестве носителя информации используется световой луч, сформированный с помощью мощного источника света. Луч прожектора направляют вертикально вверх и с расстояния 150-500 м, называемого базой, измеряют угол наблюдения светового пятна и методом триангуляции определяют его высоту.

Различают активную метеорологическую радиолокацию с использованием переизлучения и пассивную с использованием собственного излучения (теплолокация). Принцип радиолокации заключается в регистрации излучаемой или переизлучаемой метеорологическим объектом электромагнитной энергии в диапазоне СВЧ. Характеристики принятого сигнала зависит от расстояния до объекта и от его свойств. Применяя активную радиолокацию достаточно просто определить расстояние до объекта, т.к. скорость распространения электромагнитного излучения является известной величиной.

Физические принципы лидарного метода аналогичны активному радиолокационному методу и отличаются от последнего длинами волн электромагнитного излучения (от видимого до ИК диапазона) и малым углом расходимости излучаемой энергии. Отраженный от облака световой импульс, излучаемый ОКГ через объектив передатчика, принимается ФЭУ. Полученный интервал времени, необходимый световому импульсу для прохождения прямого и обратного расстояния между измерителем и НГО, переводится в информацию о высоте облачности.

Принцип работы спутникового метода измерения высоты НГО основан на измерении высоты верхней границы облачности (или отдельных облаков) с по следующим вычитанием толщины облачности. Первый параметр получается путем сопоставления углов наблюдения верхней границы облачности с нескольких спутников. Для получения второго параметра

используются различные приборы как наземного, так и спутникового базирования.

Из пассивных методов зондирования рассмотрены морфологический, дефицита точки росы, бистатический, шаропилотный и стереоскопический.

Сущность морфологического метода заключается в определении диапазона высот нижней границы облачности, на которых может располагаться определяемый по приведенным в атласе описаниям и фотографиям тип наблюдаемых облаков.

Также к пассивным относится метод оценки высоты НГО по минимальным уровням конденсации, использующий эмпирические формулы (1.3). Разность температуры воздуха и точки росы называется дефицитом точки росы, поэтому метод часто называется методом дефицита точки росы. Оба параметра измеряются в градусах Цельсия на метеостанции в психрометрической будке на высоте 2 м над поверхностью земли.

Принцип работы бистатического метода заключается в том, что, наблюдая один и тот же фрагмент облачности с двух пространственно разнесенных оптико-электронных приемников, вычисляют углы визирования (или отклонения от вертикали) и методом триангуляции вычисляют высоту наблюдаемого фрагмента облачности.

Шаропилотный метод измерения высоты НГО относится к пассивным методам определения высоты НГО и применяется при балле облачности от 5-ти до 10-ти (для максимального исключения вероятности попадания шар-пилота в просвет между облаками). Может применяться как визуальное определение момента исчезновения видимости шар-пилота с помощью теодолита, так и с помощью специальных облакомеров, закрепленных на шар-пилоте, и работающих на фотоэлектрическом или электротехническом принципах.

Для этого шар-пилот наполняют гелием или водородом, определяют его вертикальную скорость подъема (порядка 325-ти м/мин) и отпускают в свободный полет. Замеряя с помощью секундомера время, которое требуется

шар-пилоту для достижения облачности, определяют высоту НГО. Для наблюдения в темное время суток к шар-пилоту прикрепляют небольшой источник света.

Суть стереоскопического метода заключается в следующем: для каждой точки на одном изображении выполняется поиск парной ей точки на другом изображении; по паре соответствующих точек можно выполнить триангуляцию и определить координаты их прообраза в трехмерном пространстве; зная трехмерные координаты прообраза, глубина вычисляется как расстояние до плоскости камеры.

Среди методов поиска сопряженных точек рассматриваются такие как: локальный бинарный шаблон и индекс структурного сходства SSIM.

Локальный бинарный шаблон (ЛБШ) представляет собой описание окрестности пикселя изображения в двоичном представлении. Базовый оператор ЛБШ, применяемый к пикселю изображения, использует восемь пикселей окрестности, принимая значение интенсивности центрального пикселя в качестве порога. Пиксели со значением интенсивности большим или равным значению интенсивности центрального пикселя принимают значения равные «1», остальные принимают значения равные «0». Таким образом, результатом применения базового оператора ЛБШ к пикселю изображения является восьмиразрядный бинарный код, который описывает окрестность этого пикселя.

SSIM – индекс — это метод полного сопоставления. Отличительной особенностью метода является то, что метод учитывает «восприятие ошибки» благодаря учёту структурного изменения информации. Данные зависимости несут важную информацию о структуре объектов и о сцене в целом.

Полученный SSIM - индекс лежит в пределах от −1 до +1. Значение +1 достигается только при полной аутентичности образцов. Метрика рассчитана на окно размером 8×8 пикселей, но его можно регулировать в зависимости от требуемой времени работы алгоритма. Окно может смещаться через пиксель,

но специалисты рекомендуют использовать группы окон для уменьшения сложности вычислений.

2 АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ И ЕЁ РЕЛЬЕФА

2.1 Алгоритм вычисления нижней границы облачности

Для полного понимания работы метода вычисления нижней границы облачности необходимо разработать последовательность вычислительных шагов, которые покажут полный механизм работы метода. Начиная от входных данных – парой изображений, заканчивая выходными – значением высоты нижней границы облачности.

На рисунке (2.1) представлен алгоритм вычисления нижней границы облачности.

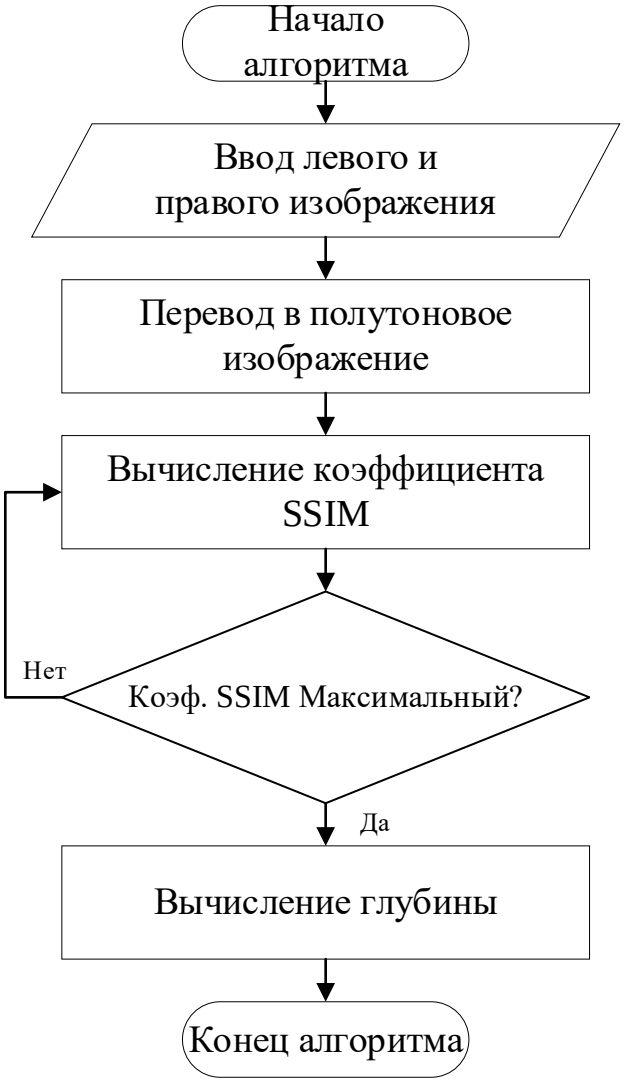

Рисунок 2.1 – Алгоритм вычисления нижней границы облачности

Алгоритм начинается с ввода двух парных изображений облачности. Каждое из них переводится в полутоновое изображение для уменьшения времени работы алгоритма. Связано это с тем, что на каждый пиксель цветовой модели RGB приходится по 8 бит на каждый основной цвет (красный, зеленый и синий). И в сумме на каждый пиксель приходится по 24 бита, когда как на полутоновом изображении на каждый пиксель приходится лишь 8 бит (255 градаций яркости).

Преобразование цветного изображения в полутоновое заключается в получении яркости каждой точки по формуле:

$$Y=0.3R+0.59G+0.11B\ . \qquad (2.1)$$

И последующем копировании на все три канала полученной величины ($R=G=B=Y$). Где R, G, B – это значение красного, зеленого и синего цветов в обрабатываемой точке [5].

Далее вычисляется коэффициент SSIM для каждой точки в области поиска по формуле (1.9) и отбирается точка с максимальным значением SSIM.

После этого проходит вычисление глубины точки по формуле (1.6).

2.2 Технология определения сопряженных точек

Определение сопряженных точек начинается с определения разрешения изображений. Исходя из разрешения изображения определяется область поиска точек и определяется по формуле:

$$h = Nx/10\ , \qquad (2.2)$$

где Nx – значение ширины разрешения изображения.

Далее определяется шаг поиска сопряженных точек. Шаг поиска — это количество пропущенных, при выборе следующей точки, пикселей. Это необходимо для оптимизации алгоритма поиска сопряженных точек относительно времени его работы.

Выбирается первая точка на левом изображении, определяется область, просчитывается математическое ожидание *M(X)* и дисперсия *D(X)* вокруг этой точки. Затем алгоритм переходит на правое изображение, определяется точка поиска по принципу (x0-d, y0), окрестности этой точки и высчитывается полный индекс SSIM по формуле (1.9) ((математическое ожидание *M(X),* дисперсия *D(X)* и ковариация *cov(X, Y)*) .Пользуясь данными, которые были получены для точки на левом изображении, сравниваем значение SSIM. Далее, точка поиска сдвигается на один пиксель вправо или влево, и снова вычисляется значение SSIM. Так продолжается до тех пор, пока значение индекса SSIM не начнет убывать.

2.3 Оценка погрешности восстановления высоты нижней границы облачности из-за неточности определения сопряженных точек

Одна из погрешностей восстановления высоты нижней границы облачности заключается в неточности определения сопряженных точек. Из-за погрешности определения сопряженных точек, происходит сдвиг по пикселям и значение Z, из формулы (1.6), может сильно разниться по сравнению с её настоящим значением. Количество пикселей подверженных погрешности определяется по формуле (2.3)

$$x = Nx \times S\,, \tag{2.3}$$

где Nx - значение ширины разрешения изображения;

S – значение индекса SSIM.

2.4 Выводы по разделу

Вторая глава посвящена алгоритму вычисления нижней границы облачности, технологии определения сопряженных точек и оценки погрешности восстановления высоты нижней границы облачности из-за неточности определения сопряженных точек.

Алгоритм начинается с ввода двух парных изображений облачности. Каждое из них переводится в полутоновое изображение для уменьшения

времени работы алгоритма. Далее вычисляется коэффициент SSIM для каждой точки в области поиска и отбирается точка с максимальным значением SSIM.

После этого проходит вычисление глубины точки по формуле

Определение сопряженных точек начинается с определения разрешения изображений. Исходя из разрешения изображения определяется область поиска точек.

Далее определяется шаг поиска сопряженных точек. Шаг поиска — это количество пропущенных, при выборе следующей точки, пикселей. Это необходимо для оптимизации алгоритма поиска сопряженных точек относительно времени его работы.

Выбирается первая точка на левом изображении, определяется область, просчитывается математическое ожидание $M(X)$ и дисперсия $D(X)$ вокруг этой точки. Затем алгоритм переходит на правое изображение, определяется точка поиска по принципу (x0-d, y0), окрестности этой точки и высчитывается полный индекс SSIM. Пользуясь данными, которые были получены для точки на левом изображении, сравниваем значение SSIM. Далее, точка поиска сдвигается на один пиксель вправо или влево, и снова вычисляется значение SSIM. Так продолжается до тех пор, пока значение индекса SSIM не начнет убывать.

Одна из погрешностей восстановления высоты нижней границы облачности заключается в неточности определения сопряженных точек. Из-за погрешности определения сопряженных точек, происходит сдвиг по пикселям и значение Z может сильно разниться по сравнению с её настоящим значением.

3 РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА И ПРОГРАММА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ОБЛАЧНОСТИ

3.1 Обоснование среды реализации программной системы

Программа была реализована в среде VisualStudio на языке C# (си-шарп). Вместо C++ был выбран C#, потому что он не содержит указателей, что значительно упрощает работу с экспериментальными исследованиями. Где создается макет системы и есть возможность, при необходимости, вносить правки без вреда для всей программы.

Pyton является сугубо консольным языком программирования. У него отсутствует промышленно разработанные стандартных интерфейсов. А для исследования необходимо форма для хранения изображения, меню и т.п. В добавок недостатками языка являются зачастую более низкая скорость работы и более высокое потребление памяти написанных на нём программ по сравнению с аналогичным кодом, написанным на компилируемых языках, таких как Си или C++ [6].

VisualStudio является бесплатной интегрированной средой разработки программного обеспечения и ряда других инструментов [7]. Включает в себя редактор форм для упрощения создания графического интерфейса приложения, веб-редактор, дизайнер классов и дизайнер схемы базы данных. Позволяет использовать мощные стандартные и вспомогательные библиотеки.

3.2 Разработка структуры программы, её описание

Приступая к разработке каждой программы, следует иметь ввиду, что она является большой системой, поэтому нужно принимать меры для ее упрощения [8]. Для этого программу разрабатывают по частям, которые называются программными модулями. Такой метод программирования называют модульным программированием.

Каждый программный модуль программируется, компилируется и отлаживается отдельно от других модулей программы, и тем самым физически разделен с другими программными модулями.

Любое программное средство имеет свою структуру, которая разрабатывается для удобства:

1) разработки;

2) программирования;

3) отладки;

4) внесения изменений;

Для упрощения работы необходимо разработать структуру программы, которая покажет основные функциональные связи элементов, их назначение и взаимосвязи между ними. На рисунке 3.1 представлена структурная схема алгоритма расчета НГО и построение её рельефа.

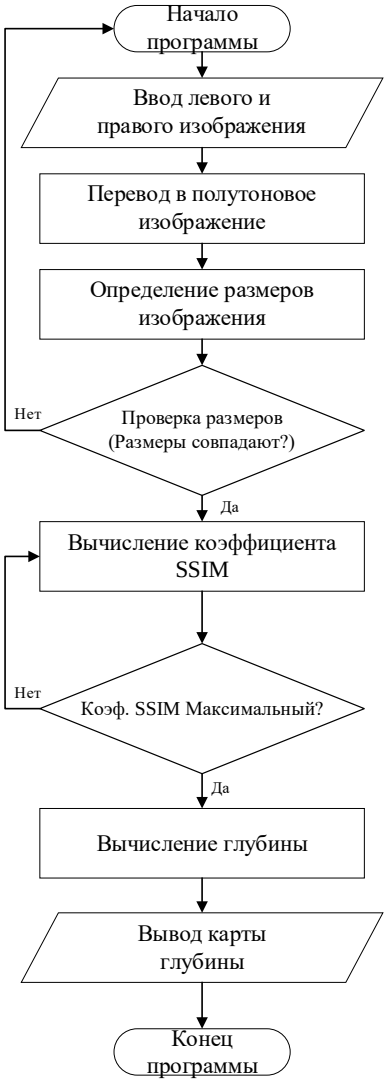

Рисунок 3.1 – Структурная схема алгоритма расчета нижней границы облачности и построение её рельефа

В начале вводится левое и правое изображение. Проводится перевод изображений в полутоновые и сравнение размеров изображений. Если размеры одинаковые, то программа продолжает работу. Если нет, то программа запускается с начала. Далее вычисляется коэффициент индекса SSIM. Максимальное значение индекса обозначает самую сильную структурную схожесть двух точек на левом и правом изображениях. Затем вычисляется глубина, строится трехмерный график глубины, и программа завершает работу.

3.3 Разработка программы взаимодействия

Диаграмма взаимодействия — это диаграмма, на которой представлено взаимодействие, состоящее из множества объектов и отношений между ними, включая и сообщения, которыми они обмениваются. Этот термин применяется к видам диаграмм с акцентом на взаимодействии объектов (диаграмма последовательности) [9].

Диаграмма последовательности наглядно отображает временной аспект взаимодействия [10]. Она имеет два измерения. Одно измерение (слева-направо) указывает на порядок вовлечения экземпляров сущностей во взаимодействие. Крайним слева на диаграмме отображается экземпляр актера или объект, который является инициатором взаимодействия. Правее отображается другой экземпляр сущности, который непосредственно взаимодействует с первым и т.д. Второе измерение (сверху-вниз) указывает на порядок обмена сообщениями. Начальному моменту времени соответствует самая верхняя часть диаграммы. Масштаб на оси времени не указывается, поскольку диаграмма отображает лишь временную упорядоченность взаимодействия типа «раньше-позже»

Линия жизни отображается штриховой вертикальной линией, соединенной с соответствующим экземпляром сущности. Линия жизни служит для обозначения периода времени, в течение которого экземпляр может потенциально участвовать во взаимодействии. Если он существует в

течение всего взаимодействия, то и его линия жизни должна продолжаться от самой верхней части диаграммы до самой нижней.

Взаимодействие между экземплярами моделируется через обмен сообщениями. Сообщения могут быть следующих видов:

1) ——▶ - синхронное сообщение. Клиент посылает сообщение серверу и ждет, пока тот примет и обработает сообщение. Как правило, один объект передает синхронное сообщение второму, второй – третьему и т.д., образуя вложенный поток сообщений. В любом случае клиент, инициирующий поток сообщений, должен дождаться его завершения, т.е. возврата управления. Это самый распространенный тип сообщений;

2) ——> - асинхронное сообщение. Клиент посылает сообщение серверу и, не дожидаясь ответа, продолжает выполнять следующие операции;

3) - - - - - - - - -> - возвращающее сообщение, обозначающее возврат значения или управления от сервера обратно клиенту. Стрелки этого вида зачастую отсутствуют на диаграммах, поскольку неявно предполагается их существование после окончания процесса выполнения операции.

На рисунке 3.2 представлена диаграмма последовательности для алгоритма расчета НГО и построение её рельефа.

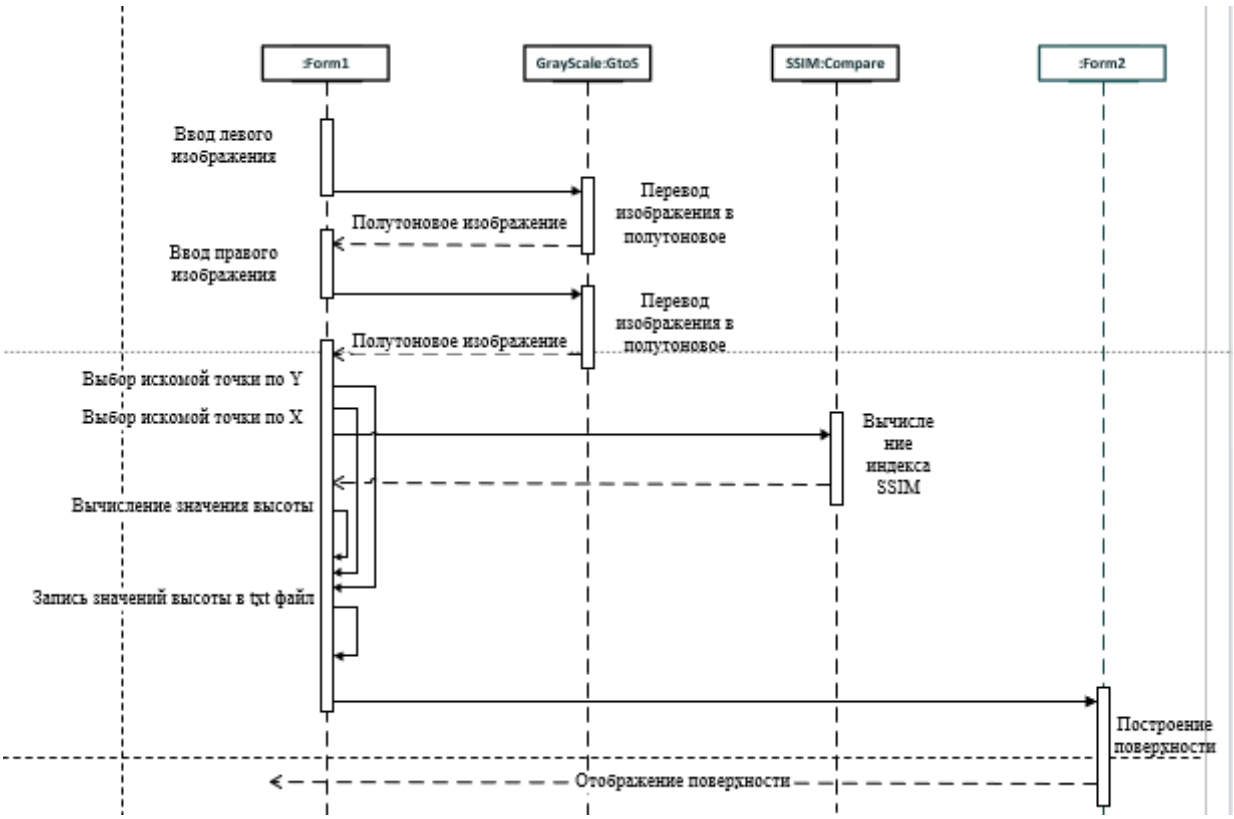

Рисунок 3.2 – Диаграмма последовательности для алгоритма расчета НГО и построение её рельефа

Начинается все с класса Form1. Вводится пара изображений, поступающих на камеру. Каждое из них переводится в полутоновое изображение. В схеме RGB мы домножаем каждый составной цвет на определенный коэффициент (для красного 0.3; для зеленого 0.59; для синего 0.11) и получаем полутоновое изображение. Далее, на левом изображении выбирается точка по оси Y и по оси X. Потом включается класс Compare, в котором реализован метод SSIM. Метод, в заранее определенном окне, на правом изображении, проводит поиск сопряженной точки левого изображения, присваивая каждому значение индекса от 0 до 1. Точка с самым большим индексом SSIM записывается, как сопряженная точка и, далее, вычисляется её высота. И так проводится поиск для каждой точки на левом изображении. Значения высот записывается в файл и, далее, классом Form2 проводится построение рельефа НГО.

3.4 Диаграмма классов

Центральное место в методологии ООАП занимает разработка логической модели системы в виде диаграммы классов [11]. Нотация классов в языке UML проста и интуитивно понятна всем тем, кто когда-либо имел опыт работы с CASE-средствами. Схожая нотация применяется для объектов, которые в контексте языка UML являются экземплярами классов и изображаются на канонических диаграммах различных типов.

Диаграмма классов (class diagram) служит для представления статической структуры модели системы в терминологии классов объектно-ориентированного программирования. Диаграмма классов может отражать, в частности, различные взаимосвязи между отдельными сущностями предметной области, такими как объекты и подсистемы, а также описывает их внутреннюю структуру и типы отношений. На данной диаграмме не указывается информация о временных аспектах функционирования системы.

Класс в языке UML является абстрактным описанием или представлением свойств множества объектов, которые обладают одинаковой структурой, поведением и отношениями с объектами из других классов. Графически класс в нотации языка UML изображается в виде прямоугольника, который дополнительно может быть разделен горизонтальными линиями на разделы или секции. В этих секциях могут указываться имя класса, атрибуты (переменные) и операции (методы).

На рисунке 3.3 представлена диаграмма классов для алгоритма расчета НГО и построение её рельефа.

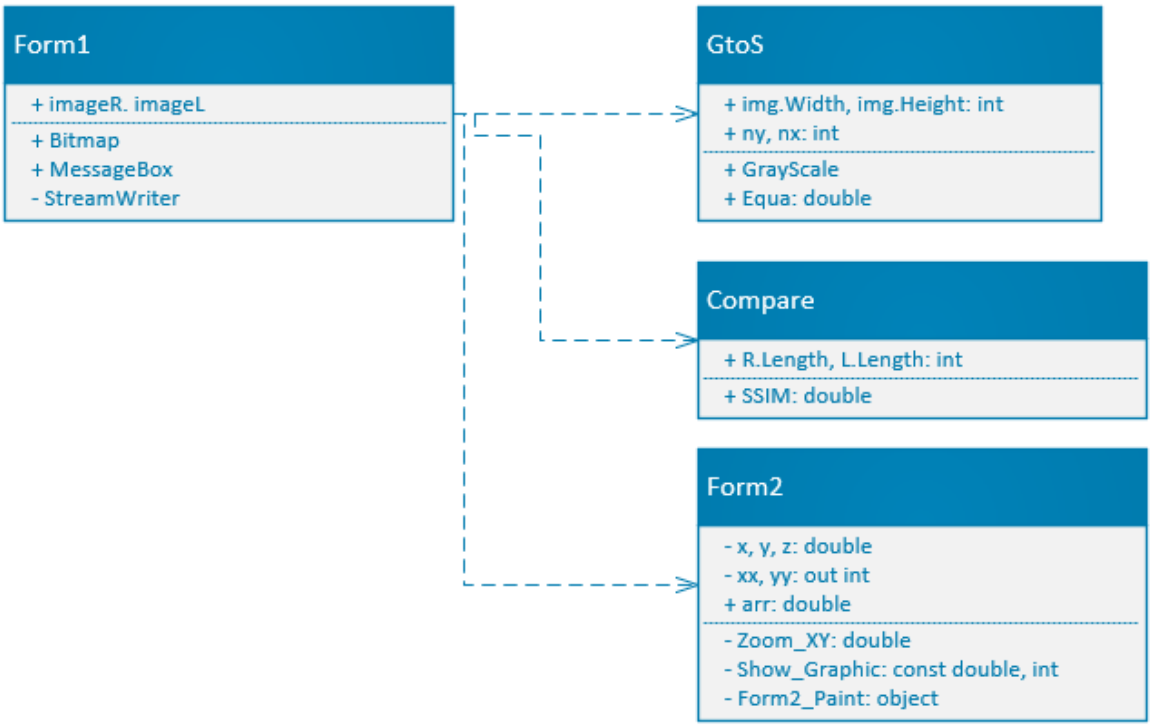

Рисунок 3.3 – Диаграмма классов для алгоритма расчета нижней границы облачности и построение её рельефа

Как видно из рисунка 3.3 алгоритм разделен на четыре класса:

– Form1;
– GtoS;
– Compare;
– Form2.

Объектами в классе Form1 являются парные изображения, который мы вводим. Методы, в которых мы оперируем объектами, являются:

– Bitmap используется для работы с изображениями, определяемыми данными пикселей;
– MessageBox отображает окно сообщения (диалоговое окно) с текстом для пользователя;
– StreamWriter используется для записи символов в поток в определенной кодировке.

В GtoS используются ширина и высота изображения, а также кол-во строк и столбцов пикселей. Методами являются:

– GrayScaly - цветовой режим изображений, которые отображаются в оттенках серого цвета, размещённые в виде таблицы в качестве эталонов яркости белого цвета;
– Equa - определяет, равны ли два экземпляра объекта.

Класс Compare оперирует объектами R.Lenght и L.Lenght – это размерности левого и правого изображения. И использует метод SSIM.

Form2 имеет объекты в виде осей x, y, z; объекты xx, yy и arr. Применяет следующие методы:

– Zoom_XY – точка отсчета для построения 3D графика;
– Show_Graphic размещает в одном компоненте данные и методы, которые с ними работают;
– Form2_Paint проводит построение рельефа НГО.

3.5 Результаты тестирования

На тестирование, в качестве контрольных образцов была взята пара изображений (рисунок 3.4), с шириной и высотой 500 пикселей, глубиной цвета 24, с горизонтальным и вертикальным разрешением 96 точек на дюйм. Формат JPG.

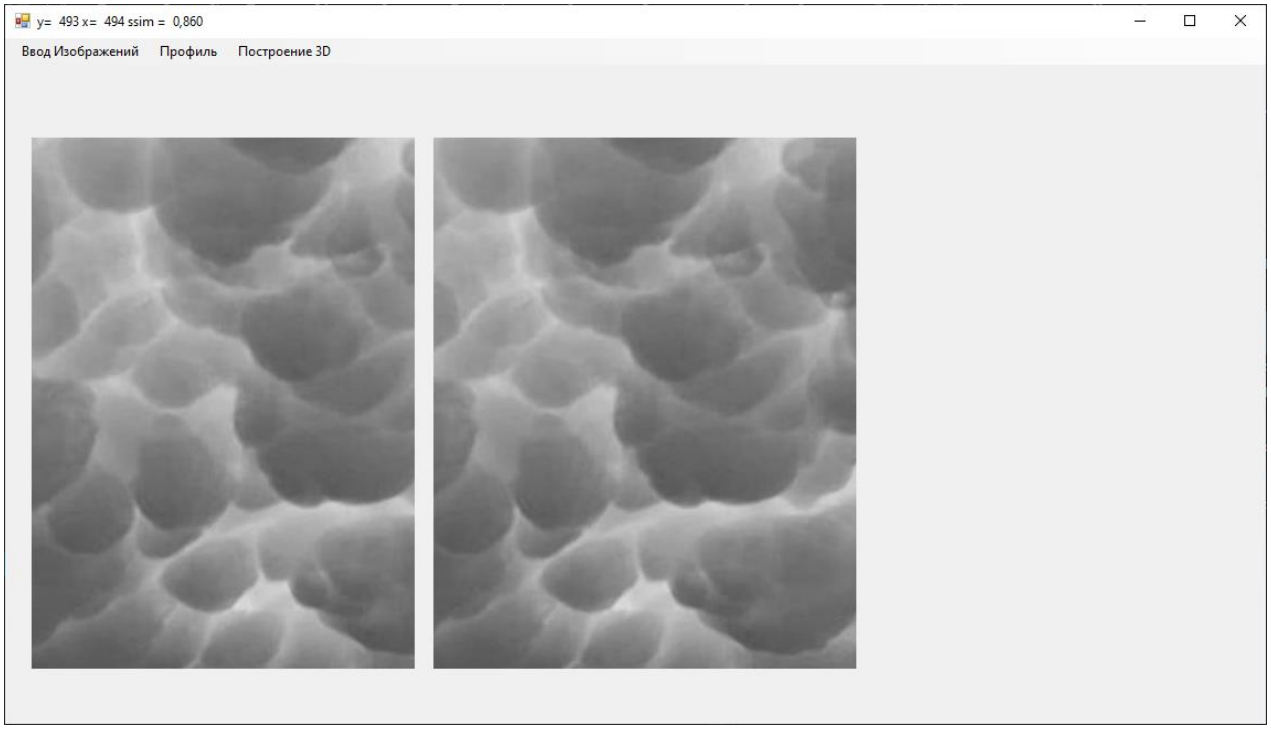

Рисунок 3.4 – Пара изображений

Среднее значение индекса SSIM было равно 0,9. В результате работы программы, на рисунке 3.5, была построена карта глубины нижней границы облачности.

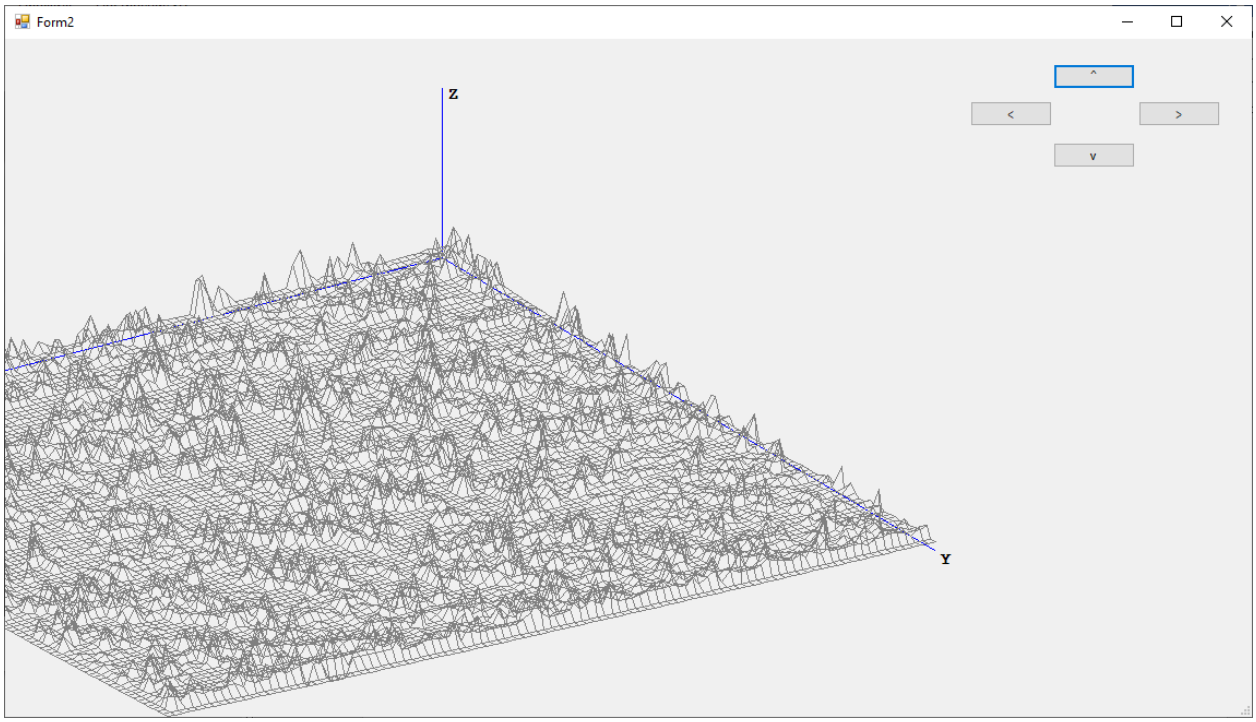

Рисунок 3.5 – Карта глубины нижней границы облачности

3.6 Выводы по разделу

В третьей главе рассматривается обоснование среды реализации программной системы.

Программа была реализована в среде VisualStudio на языке C# (си-шарп). Вместо C++ был выбран C#, потому что он не содержит указателей, что значительно упрощает работу с экспериментальными исследованиями. Где создается макет системы и есть возможность, при необходимости, вносить правки без вреда для всей программы.

Pyton является сугубо консольным языком программирования. У него отсутствует промышленно разработанные стандартных интерфейсов. А для исследования необходимо форма для хранения изображения, меню и т.п. В добавок недостатками языка являются зачастую более низкая скорость работы и более высокое потребление памяти написанных на нём программ по

сравнению с аналогичным кодом, написанным на компилируемых языках, таких как Си или C++.

VisualStudio является бесплатной интегрированной средой разработки программного обеспечения и ряда других инструментов. Включает в себя редактор форм для упрощения создания графического интерфейса приложения, веб-редактор, дизайнер классов и дизайнер схемы базы данных. Позволяет использовать мощные стандартные и вспомогательные библиотеки.

Разработка структуры программы, её описание состоит в следующем. В начале вводится левое и правое изображение. Проводится перевод изображений в полутоновые и сравнение размеров изображений. Если размеры одинаковые, то программа продолжает работу. Если нет, то программа запускается с начала. Далее вычисляется коэффициент индекса SSIM. Максимальное значение индекса обозначает самую сильную структурную схожесть двух точек на левом и правом изображениях. Затем вычисляется глубина, строится трехмерный график глубины, и программа завершает работу.

Диаграмма взаимодействия — это диаграмма, на которой представлено взаимодействие, состоящее из множества объектов и отношений между ними, включая и сообщения, которыми они обмениваются.

Начинается все с класса Form1. Вводится пара изображений, поступающих на камеру. Каждое из них переводится в полутоновое изображение. В схеме RGB мы домножаем каждый составной цвет на определенный коэффициент (для красного 0.3; для зеленого 0.59; для синего 0.11) и получаем полутоновое изображение. Далее, на левом изображении выбирается точка по оси Y и по оси X. Потом включается класс Compare, в котором реализован метод SSIM. Метод, в заранее определенном окне, на правом изображении, проводит поиск сопряженной точки левого изображения, присваивая каждому значение индекса от 0 до 1. Точка с самым большим индексом SSIM записывается, как сопряженная точка и, далее, вычисляется её высота. И так проводится поиск для каждой точки на левом

изображении. Значения высот записывается в файл и, далее, классом Form2 проводится построение рельефа НГО.

Диаграмма классов служит для представления статической структуры модели системы в терминологии классов объектно-ориентированного программирования. Диаграмма классов может отражать, в частности, различные взаимосвязи между отдельными сущностями предметной области, такими как объекты и подсистемы, а также описывает их внутреннюю структуру и типы отношений.

Алгоритм разделен на четыре класса:

- Form1;
- GtoS;
- Compare;
- Form2.

Объектами в классе Form1 являются парные изображения, который мы вводим. Методы, в которых мы оперируем объектами, являются:

- Bitmap используется для работы с изображениями, определяемыми данными пикселей;
- MessageBox отображает окно сообщения (диалоговое окно) с текстом для пользователя;
- StreamWriter используется для записи символов в поток в определенной кодировке.

В GtoS используются ширина и высота изображения, а также кол-во строк и столбцов пикселей. Методами являются:

- GrayScaly - цветовой режим изображений, которые отображаются в оттенках серого цвета, размещённые в виде таблицы в качестве эталонов яркости белого цвета;
- Equa - определяет, равны ли два экземпляра объекта.

Класс Compare оперирует объектами R.Lenght и L.Lenght – это размерности левого и правого изображения. И использует метод SSIM.

Form2 имеет объекты в виде осей x, y, z; объекты xx, yy и arr. Применяет следующие методы:

- Zoom_XY – точка отсчета для построения 3D графика;
- Show_Graphic размещает в одном компоненте данные и методы, которые с ними работают;
- Form2_Paint проводит построение рельефа НГО.

Результаты тестирования показали, что алгоритм поиска сопряженных точек и восстановления нижней границы облачности работает с точностью 0,9 и выше и пригоден для практических применений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать заключение, что задача поставленной цели достигнута. Разработан алгоритм восстановления облачной поверхности и реализована программная система, которая обеспечивает вычисление сопряженных точек и восстановление НГО с погрешностью не более 10%.

Программа реализована в среде разработки VisualStudio на языке C# с максимальным использованием стандартных библиотек, что обеспечило надежность программирования и скорость реализации программной системы.

Тестирование на контрольных примерах показали, что результаты работы приемлемы для практических применений. Вместе с тем отмечаем, что система является открытой. Её усовершенствование может быть легко осуществлено путем замены одних норм на другие.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1) Зуев С.В. Моностатический оптико-электронный измеритель высоты нижней границы облачности : дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2014. – 120 с.

2) Анализ способов и алгоритмов определения параметров объекта и расстояния до него по изображению [Электронный ресурс]. – URL: http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sposobov-i-algoritmov-opredeleniya-parametrov-obekta-i-rasstoyaniya-do-nego-po-izobrazheniyu (дата обращения 12.06.2020).

3) Maenpaa T. The Local Binary Pattern Approach to Texture Analysis — Extensions and Applications. – Oulu: Oulu University Press. 2003. – 80 с.

4) Wang Z., Bovik A.C., Sheikh H.R., Simoncelli E.P. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity // IEEE Transactions on Image Processing. – 2004. – V. 13. – № 4. – P. 600–612.

5) Логика конвертации цвета из RGB в HSV и отображения в виде полутонового состоящего из компоненты H [Электронный ресурс]. – URL: https://club.foto.ru/forum/6/714857/ (дата обращения: 12.06.2020).

6) Pyton [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Python (дата обращения 13.06.2020).

7) Microsoft Visual Studio [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio (дата обращения: 13.06.2020).

8) Разработка структуры программы и модульное программирование – [Электронный ресурс]. – URL: https://studfile.net/preview/1195601/page:2/ (дата обращения: 14.06.2021).

9) Диаграммы взаимодействия: крупным планом [Электронный ресурс]. – URL: https://studizba.com/lectures/10-informatika-i-programmirovanie/273-uml/3460-5-diagrammy-vzaimodeystviya.html# (дата обращения: 14.06.2020).

10) Диаграммы взаимодействия [Электронный ресурс]. – URL: https://www.sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/pris/lecture/tema13/tema13_3 (дата обращения: 15.06.2020).

11) Леоненков А.В. Самоучитель UML. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург. 2004. – 432 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходный текст программной системы

```
for (int y = nc; y < Ny - nc; y += ns)
{
        for (int x = nc; x < Nx - nc; x += ns)
        {
            for (int i = 0; i < n; i++)
            {
                for (int j = 0; j < n; j++)
                {
                    int ij = n * i + j;
                    Imr[ij] = imageR.GetPixel(x + i - nc, y + j - nc).R;
                }
            }
            int cb = x; //x - h;
            if (cb < nc) cb = nc;
            int ce = x + h;
            if (ce > (Nx - nc)) ce = Nx - nc;

            double ssim = 0.0;

            for(int xx = cb; xx < ce; xx++)
            {
                if (xx != x)
                {
                    for (int i = 0; i < n; i++)
                    {
                        for (int j = 0; j < n; j++)
                        {
                            int ij = n * i + j;
                            Iml[ij] = imageL.GetPixel(xx + i - nc, y + j - nc).R;
                        }
```

```
                }
                double s = Compare.SSIM(Imr, Iml);
                if (s > ssim)
                {
                    ssim = s;
                    xe = xx;
                }
            }

        }

        double z = Base * Focus / (xe - x) / rP;

        Text = "y=  " + y.ToString("0") + " x=  " + xe.ToString("0") + " ssim =  " +
ssim.ToString("f3");

        im3D[(y - nc) / ns , (x - nc) / ns] = z;
      }
    }
    DateTime t2 = DateTime.Now;
    TimeSpan ts = t2 - t1;
    MessageBox.Show("Матрица высот построена.  " + ts.TotalSeconds.ToString("f3") + "
sec.");
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

Кафедра оптико-электронных систем и дистанционного зондирования

ОТЧЕТ

По дисциплине «Правовая охрана интеллектуальной собственности»

На тему

Патентный поиск

Автор:

студент 754 гр.

Кукель С.А.

Проверил:

канд. физ.-мат. наук, доцент

Брюханова В.В.

Томск – 2019

ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТА, ОБЛАСТИ И ГЛУБИНЫ ПОИСКА

Предметом патентного поиска является метод восстановления нижних границ облачной поверхности на основе стереозрения. Оно позволяет получить представление о глубине изображения и расстоянии до объектов, составить трехмерную картину окружающего мира. Обычно используют две камеры, работающие синхронно. Камеры получают изображения, а специальные алгоритмы их анализируют, чтобы построить трехмерную структуру объекта. Стереозрение дает возможность обойтись без использования датчиков измерения расстояния: инфракрасных датчиков, звуковых локаторов или лазерных радаров. Это позволяет снизить стоимость технического решения.

Областью патентного поиска является пассивное зондирование, т.е. использование естественного отраженного или вторичного теплового излучения объектов на поверхности Земли, обусловленное солнечной активностью.

Глубина поиска составляет 5 лет.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ПОИСКА

Местом поиска были:

1. Web-сайт РОСПАТЕНТА по адресу http://www.fips.ru/
2. Офис производственной марки и патента Соединенных Штатов https://www.uspto.gov
3. Офис производственной марки и патента Германии https://www.dpma.de/english/index.html

РЕЗУЛЬТАТЫ ПАТЕНТНОГО ПОИСКА

В результате патентного поиска выли выявлены следующие изобретения:

Авторское св-во № 2017 123 576, "СИСТЕМА КАМЕР СТЕРЕОЗРЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ВО ВРЕМЯ НАЗЕМНЫХ ОПЕРАЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА"

Формула изобретения

1. Система для предупреждения пилота о риске столкновения, содержащая:

- первую камеру, установленную на первой высоте на передней кромке вертикального стабилизатора летательного аппарата для создания первого потока видеокадров, которые включают в себя первые данные изображения, представляющие изображение объекта в сцене, и вторые данные изображения, представляющие изображение части летательного аппарата;

- вторую камеру, установленную на второй высоте на передней кромке вертикального стабилизатора для создания второго потока видеокадров, которые включают в себя третьи данные изображения, представляющие изображение объекта в сцене, и четвертые данные изображения, представляющие изображение указанной части летательного аппарата, причем вторая высота меньше, чем первая высота;

- систему обеспечения подсказок в кабине экипажа летательного аппарата, выполненную с возможностью выработки подсказки; и

- компьютерную систему, запрограммированную на:

обработку видеокадров первого и второго потоков для определения первого расстояния до объекта и первой скорости изменения расстояния, с которой изменяется расстояние до объекта за первый промежуток времени;

вычисление первого промежутка времени до столкновения на основании по меньшей мере указанных первого расстояния и первой скорости изменения расстояния; и

включение системы обеспечения подсказок для создания первой подсказки, в случае если первый промежуток времени до столкновения меньше, чем первое пороговое значение обнаружения.

2. Система по п. 1, в которой компьютерная система также запрограммирована на: обработку видеокадров первого и второго потоков для определения второго расстояния до объекта и второй скорости изменения расстояния, с которой указанное расстояние изменяется за второй промежуток времени, следующий за первым промежутком времени;

вычисление второго промежутка времени до столкновения на основании по меньшей мере указанных второго расстояния и второй скорости изменения расстояния; и

включение системы обеспечения подсказок для создания второй подсказки, отличной от первой подсказки, в случае если второй промежуток времени до столкновения меньше, чем второе пороговое значение обнаружения, причем второе пороговое значение обнаружения меньше, чем первое пороговое значение обнаружения.

ВЫВОД

Исследуемое изобретение обладает необходимыми свойствами, а именно: использования метода стереозрения для измерения расстояния до объекта и реализации алгоритма обработки парных изображений. Но из-за отсутствия характеристик, затрудняет выявление положительных и отрицательных сторон изобретения.

Exactus Like (/index.php)

(/index.php/ru/) (/index.php/en/)

Поиск заимствований в научных текстах$^{\beta}$

Введите текст:

...или загрузите файл:

Файл не выбран... **Выбрать файл...**

Укажите год публикации: **2021**

Выберите коллекции

Все

Рефераты **Википедия** **Российские журналы**

Авторефераты **Российские конференции** **Энциклопедии**

Иностранные конференции **Иностранные журналы** **Англоязычная википедия** **PubMed**

Анализировать

Проверить по расширенному списку коллекций системы Руконтекст (http://text.rucont.ru/like)

Обработан файл:
Диплом_Кукель.docx.
Год публикации: 2021.

Оценка оригинальности документа - 92.39%

Процент условно корректных заимствований - 0.0%

Процент некорректных заимствований - 7.61%

Время выполнения: 17 с.

Руководитель ВКР _____ В.Т. Калайда
подпись

Автор работы _____ С.А. Кукель
подпись