

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
институт  
Вычислительная техника  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ О. В. Непомнящий  
подпись    инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Разработка и применение интеллектуальных алгоритмов для обработки  
цифровых изображений

Тема

09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»  
код и наименование направления

09.04.01.04 «Технология разработки программного обеспечения»  
код и наименование магистерской программы

Научный  
руководитель

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

доцент, канд. техн. наук  
должность, ученая степень

Д.А. Швец

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.С. Никитина

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

доцент, канд. техн. наук,  
должность, ученая степень

Д.А. Швец

\_\_\_\_\_  
инициалы, фамилия

Красноярск 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Обзор предметной области .....	7
1.1 Компьютерное зрение.....	7
1.2 Виды смещений изображений .....	8
1.3 Качество цифровых изображений.....	9
1.4 Цветовые пространства .....	11
1.5 Выводы по главе .....	13
2 Исследование и проектирование решения .....	14
2.1 Понятие изотропности размытия .....	14
2.2 Анизотропное размытие.....	17
2.3 Преобразование RGB в HSV.....	19
2.4 Поиск локальных экстремумов на графиках яркости .....	20
2.5 Получение численной величины степени размытия.....	22
2.6 Уточнение направления размытия .....	24
2.7 Получение матрицы яркости .....	29
2.8 Выводы по главе .....	30
3 Разработка.....	32
3.1 Выбор инструментов разработки .....	32
3.1 WayTracer.....	33
3.2 Описание работы алгоритма и его характеристики .....	35
3.2.1 Получение и подготовка изображения.....	35
3.2.2 Уравнения прямых для анализируемых направлений .....	36

3.2.3	Перевод экранных координат в декартовы .....	38
3.2.4	Вычисление величин размытия .....	39
3.2.5	Уточнение направления .....	40
3.3	Блок-схема основного алгоритма .....	43
3.4	Выводы по главе .....	44
4	Результаты исследования .....	45
4.1	Материалы для анализа .....	45
4.2	Оцениваемые критерии и характеристики .....	46
4.3	Влияние размера окна для определения экстремумов графиков яркости на работу алгоритма .....	47
4.4	Сравнение способов получения численной величины степени размытия .....	49
4.5	Сравнение способов уточнения направления .....	51
4.6	Анализ точности работы алгоритма при различных параметрах размытия .....	52
4.7	Результаты работы алгоритма .....	53
4.8	Недостатки алгоритма .....	53
4.9	Перспективы для развития .....	54
4.10	Апробация результатов .....	55
4.11	Выводы по главе .....	56
	Заключение .....	57
	Список сокращений .....	58
	Список использованных источников .....	59

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время задача обработки и анализа цифровых изображений, получаемых с фото- и видеоаппаратуры, представляется крайне актуальной. Появляется все большее число областей, в которых полезным оказывается оценка не только объектов и их свойств на изображении, но и параметров самих изображений.

Анализ размытия на изображении является частью общей проблемы компьютерного зрения (КЗ), которая активно решается в последние годы. Одна из возможных задач, в решении которой это может найти применение – полное отслеживание перемещений камеры при съемке видео, что в свою очередь может быть полезным, например, для определения траектории и параметров движения транспортного средства [1], на котором закреплена камера (в дополнение к традиционным инерциальным датчикам), путем вычисления направления смещения изображения в кадре. А также и для других задач в области компьютерного зрения – например, упорядочивание аэрофотоснимков [2, 3], построение 3D-моделей, использование модулей видеокамер в качестве высокоточных датчиков позиционирования и т.д. Камера в таких системах выступает как датчик, на который поток цифровых изображений или кадров в составе видео может как поступать в режиме реального времени, так и записываться на запоминающее устройство и использоваться затем для анализа.

Таким образом, **актуальность** данного исследования обусловлена стремительным развитием области компьютерного зрения и потенциальной полезностью программного продукта на основе разрабатываемого алгоритма для данной области.

**Целью** данной магистерской диссертации является разработка алгоритма, определяющего направление смещения изображения на основе анализа данных, извлеченных из видеопотока, или на основе обработки смазанных изображений.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

- исследование различных видов размытия изображения и их влияние анализ изображений;
- разработка метода анализа размытия изображения вдоль заданных направлений и получения его численной величины;
- разработка метода определения направления смазывания изображения;
- разработка алгоритма, определяющего направление движения камеры относительно снимаемой области на основе свойств размытия изображения;
- исследование параметров работы реализованного алгоритма.

**Объект исследования** – теория и технологии компьютерного зрения.

**Предмет исследования** – алгоритмы обработки цифровых изображений на предмет размытия.

**Область исследования** соответствует пункту № 7 «Разработка методов распознавания образов, фильтрации, распознавания и синтеза изображений, решающих правил» специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики» Паспорта специальностей ВАК России.

**Методы исследования.** Для получения и обработки результатов используются методы обработки изображений и методы математической статистики.

**Апробация работы.** Результаты исследования докладывались на Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проспект Свободный 2021».

Предполагаемая **новизна исследования** заключается в предложении нового метода анализа направления смазанности изображения на основе введения понятия изотропности для размытия изображений.

# 1 Обзор предметной области

## 1.1 Компьютерное зрение

Под компьютерным зрением понимается область искусственного интеллекта, связанная с анализом изображений и видео, включающая в себя набор методов, которые позволяют компьютеру «видеть» и анализировать увиденное, извлекая из этого необходимую информацию. В России также используется понятие «Техническое зрение».

Может выступать в качестве не только искусственной альтернативы биологическому зрению, но и как его дополнение для решения различных задач.

КЗ является довольно молодым и перспективным направлением (интенсивное изучение этой проблемы началось только в 1970-х годах), имеющим возможность найти применение во многих областях [3]. В качестве примеров можно привести фармацевтику, пищевую промышленность, автомобилестроение, разработка автопилотируемых транспортных средств, сфера 3D-моделирования, упорядочивание аэрофотоснимков и многие другие. Более того, постоянно появляются всё новые области и сценарии применения КЗ [2, 3].

Как правило, КЗ используется для анализа содержимого изображения – объекты, их параметры, расположение и пр.

Данная работа является частью общей задачи КЗ, и представляет метод, заключающийся в более точной обработке низкокачественных изображений без непосредственного распознавания их содержимого и с возможностью анализа неподготовленных материалов – фото и видео, полученных без информации о характеристиках параметрах съемки, в ходе которой были получены данные материалы, а также без информации об изображенных на них объектах. Данный метод имеет практическую значимость для алгоритма полного отслеживания параметров перемещения камеры при съемке видео.

## 1.2 Виды смещений изображений

Здесь и далее под кадром будет приниматься проекция анализируемой сцены на фокальную плоскость регистрирующего прибора (цифровой камеры) в момент времени.

Для решения задачи отслеживания движения камеры относительно снимаемой области необходимо определить вид, направление и величину смещения между кадрами.

Существует несколько типов смещений изображения между двумя кадрами:

- сдвиг по одной из двух (вертикальная и горизонтальная) осей или совмещение смещения по обеим осям;
- вращение изображения вокруг определенной оси вращения, перпендикулярной объективу камеры;
- изменения масштаба изображения – равномерное его приближение или отдаление по всему кадру.

Демонстрация данных типов смещений приведена на рисунках 1-3. Для этого была выбрана текстура сетки с контрольной контрастной фигурой, более наглядно показывающей смещение изображения относительно регистрирующего прибора.

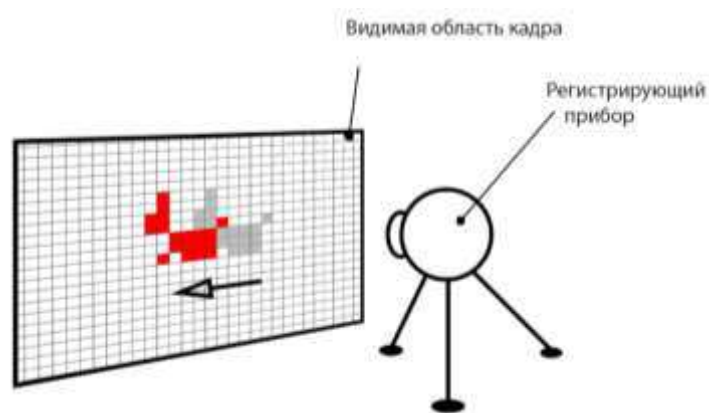


Рисунок 1 – Демонстрация смещения изображения по горизонтальной оси

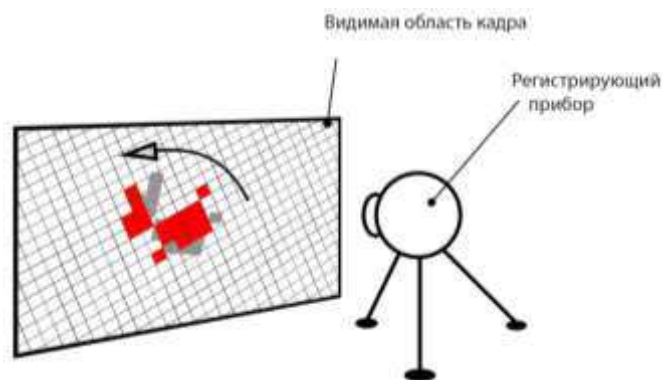


Рисунок 2 – Демонстрация вращения изображения

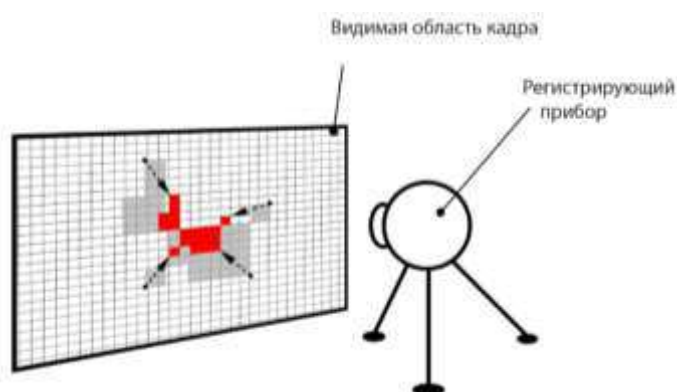


Рисунок 3 – Демонстрация изменения масштаба изображения

Любое смещение в кадре является комбинацией трех данных типов. Именно совокупность вращения изображения со сдвигом дает картину, необходимую для определения направления смещения камеры относительно снимаемой области.

### 1.3 Качество цифровых изображений

Как правило, качество цифровых изображений имеет непосредственное влияние на качество работы обрабатывающих их алгоритмов. Одним из главных показателей качества изображения принято считать его резкость – определяющий различимость деталей на фотографии [4]. Излишняя размытость изображения может стать причиной некорректной работы алгоритмов



обработки изображений – например, алгоритмов распознавания объектов. Или стать причиной некорректного определения смещения в кадре.

Изображение, полученное с цифровой камеры, может быть недостаточно резким по нескольким причинам:

- вследствие неправильной настройки фокусировки камеры;
- вследствие замутинения объектива;
- вследствие движения камеры относительно снимаемой плоскости или движения снимаемого объекта относительно камеры в момент съемки [5];

- когда камера не внесла существенного размытия, но часть самого изображения в реальной жизни размыта изначально [6]. Например, отбрасываемая тень от объекта, которая размыта в реальной жизни вследствие того, что источник света за объектом находится на расстоянии, меньшем, чем между объектом и плоскостью, на которую он отбрасывает тень. Пример такого размытия приведен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Пример размытия в реальной жизни [6]

В данной работе будут рассматриваться виды размытия именно всего изображения в целом, так как ситуации, при которых в снимаемой области изначально содержатся размытые зоны из реальной жизни, не относятся к дефектам изображения в техническом плане. Кроме того, задача обработки дефектов, которые содержатся на изображении, лежит за пределами темы представленного исследования.

## 1.4 Цветовые пространства

Цветовое пространство или цветовое представление – математическая модель представления цвета в виде кортежей чисел, или т.н. цветовых координат. При этом набор цветов, которые можно описать в том или ином цветовом пространстве, является ограниченным. Это означает, что любой из фиксированного количества цветов можно однозначно описать комбинацией нескольких координат.

Различные цветовые пространства отличаются друг от друга значениями в кортежах, которые отвечают за различные параметры цвета. Некоторые из них содержат значения яркости пикселей изображения, которые имеют полезность для разрабатываемого алгоритма. Например, HSV и HSL [7].

В данных цветовых пространствах цвет каждого пикселя задан тремя числовыми компонентами, представляющих собой Hue (оттенок), Saturation (насыщенность) и Value/Lightness (значение цвета или яркость/светлота) для HSV и HSL соответственно [8].

Значение оттенка может изменяться в интервале  $[0, 2\pi]$ . Значение же насыщенности описывает глубину оттенка, принимая значения в пределах интервала  $[0, 1]$ , где 1 – максимальная насыщенность.

Третий компонент является главным отличием HSV и HSL друг от друга. Оба значения выражают уровень освещенности и лежат в интервале  $[0, 1]$ , где 0 – полное отсутствие света. Однако максимальная насыщенность оттенка достигается в первом случае при  $V = 1$ , во втором же при  $L = 0,5$ .

В свою очередь, HSV и HSL были разработаны на основе цветового представления RGB, являющегося стандартным для использования в различных устройствах – от мониторов и различного рода экранов до передающих цифровых камер [9, 10].

В представлении RGB цвет получается комбинацией трех значений цветовых компонент – красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue) – в

диапазоне от 0 до 1. При этом каждое значение представляет собой интенсивность каждого из цветов. Объединение всех трех компонент в максимальном значении обозначает белый цвет, сочетание же всех трех компонент в нулевом значении дает черный цвет.

Графические модели представлений HSL, HSV и RGB показаны на рисунках 5, 6 и 7 соответственно.

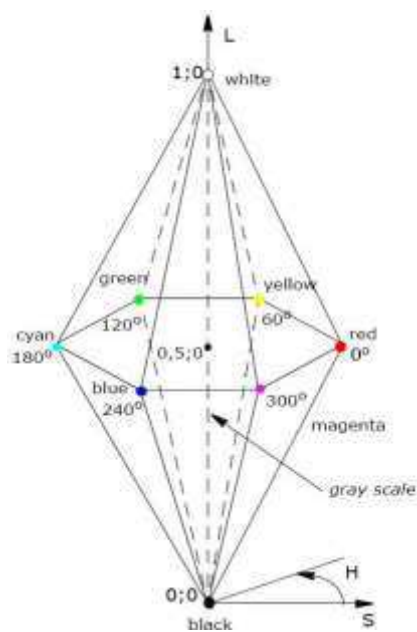


Рисунок 5 – Модель цветового пространства HSL [11]

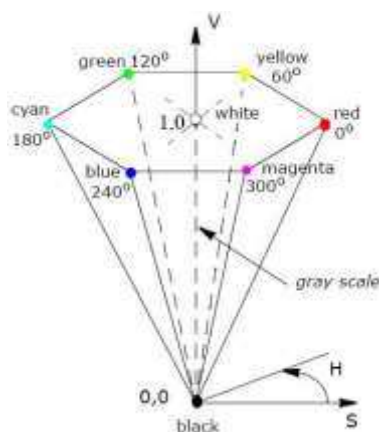


Рисунок 6 – Модель цветового пространства HSV [11]

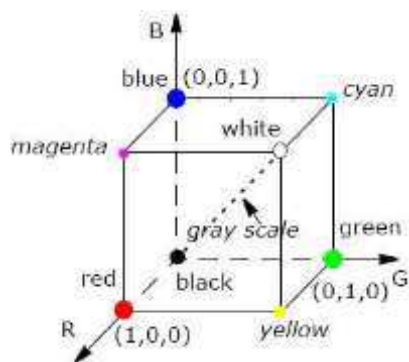


Рисунок 7 – Модель цветового пространства RGB [11]

В исследованиях отмечается, что модель HSV более устойчива к изменениям освещенности, например, по сравнению с RGB, а также к уровню шума [12, 13]. Поэтому для использования в дальнейшей работе было принято решение выбрать именно данное цветовое пространство.

### 1.5 Выводы по главе

В данной главе был произведен обзор предметной области по теме исследования. Были рассмотрены различные смещения в кадре, а также причины размытия изображения, на основе которых будет основано дальнейшее исследование метода анализа размытия изображения.

Была обусловлена актуальность темы, заключающаяся в потенциальной полезности разрабатываемого алгоритма для области КЗ.

Также были рассмотрены некоторые цветовые представления, на основе которых для использования в дальнейших исследованиях было выбрано представление HSV вследствие наличия в его числовом кортеже, описывающем цвет, значения яркости, которое будет удобным для использования в дальнейшей работе.

## 2 Исследование и проектирование решения

### 2.1 Понятие изотропности размытия

Как было сказано в подразделе 1.3, чрезмерная размытость изображения может стать помехой для анализа изображения. Но в некоторых случаях сам факт размытия изображения и его параметры могут представлять интерес и являться непосредственным предметом анализа.

Исходя из информации в том же подразделе, размытие может быть двух видов:

- всё изображение размыто равномерно во всех направлениях;
- границы всех объектов на изображении размыты («смазаны») по линии вектора движения камеры/снимаемой плоскости в обоих направлениях [14].

Исходя из вышеизложенного, в данном исследовании предлагается ввести понятие изотропности для размытия изображения, по аналогии с реальным физическим явлением изотропии. Таким образом, размытие на изображении может быть *изотропным* – когда границы объектов на изображении размыты однородно во всех направлениях, и *анизотропным* – когда границы размыты в направлении смазывания, возникающего вследствие движения камеры и снимаемого объекта/плоскости относительно друг друга. Именно анизотропное размытие представляет в рамках данной статьи наибольший интерес.

Величину размытия изображения можно оценить по тому, насколько размыты границы объектов на нём. Тогда степень размытости можно представить, как отношение изменения яркости изображения к длине участка, на котором происходит это изменение:

$$S = \frac{\Delta I}{w}, \quad (1)$$

где  $I$  – это яркость,  $w$  – ширина перехода.

Если представить яркость изображения в виде функции от положения по оси  $X$ , то наглядно размытость может быть представлена как тангенс угла наклона (рисунок 8) [4].

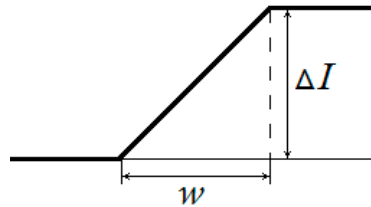


Рисунок 8 – Профиль резкости изображения [4]

Таким образом, задача оценки размытия изображения сводится к анализу графиков изменения яркости по заданным строкам изображения (вертикальным, горизонтальным либо диагональным), или вдоль направлений, перпендикулярным линиям границ объектов, которые определяются при помощи дополнительных алгоритмов – например, детектора границ Канни [6, 7, 8].

Однако в исследуемых ситуациях алгоритмы распознавания границ являются неприменимыми вследствие того, что в кадре не всегда присутствуют объекты, у которых бы было возможно определить границы. Пример такого изображения был подготовлен и представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Пример размытого изображения без четких объектов

На приведенном рисунке изображена размытая по направлению под углом в 45 градусов фотография асфальта. Такое изображение может быть получено при съемке дороги в движении камерой, закрепленной на транспортном средстве (ТС). Как видно, на фотографии отсутствуют какие-либо объекты, у которых бы было возможно определить границы.

При этом, в отличие от изотропного, плавность изменения значения яркости границ объектов при анизотропном размытии будет изменяться в зависимости от направления, вдоль которого измеряется яркость.

Для демонстрации зависимости плавности изменения уровня яркости от направления измерения для различных типов размытия были созданы графики, продемонстрированные на рисунке 10, где: а) – изображение без размытия, б) – изображение с изотропным размытием, в) – изображение с анизотропным размытием по горизонтали. Для удобства восприятия графики яркости инвертированы по вертикали.

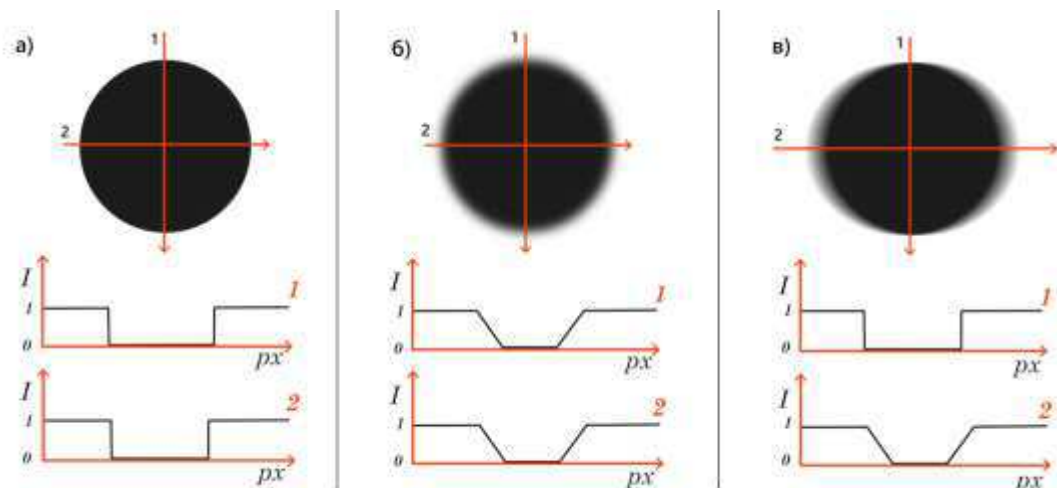


Рисунок 10 – Графики изменения яркости для разных видов размытия

Как видно из данного рисунка, уровень яркости меняется более плавно, когда направление размытия изображения совпадает с направлением линии, по которой производится замер уровня яркости, по сравнению с направлением линии, перпендикулярной направлению размытия.

## 2.2 Анизотропное размытие

Рассмотрим анизотропное размытие подробнее. Для наглядности было создано изображение (рисунок 11), представляющее упрощенную имитацию изображения с размытием в движении. Также выбрано четыре упрощенных демонстрационных направления для выделения строк пикселей, по которым были построены графики изменения яркости на данном участке.



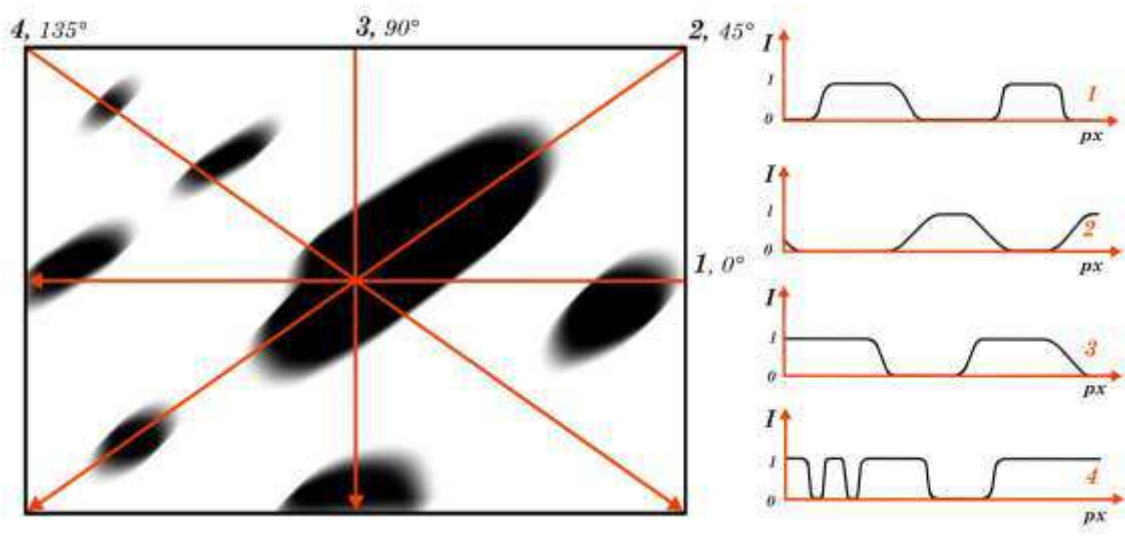


Рисунок 11 – Графики изменения яркости для анизотропного размытия

Видно, что уровень яркости на графике № 2 меняется более плавно по сравнению с графиками по другим направлениям, из чего можно сделать вывод о том, что величина размытия границ в этом направлении является наибольшей. Принимая во внимание свойства изображений, размытых в движении, можно также сделать вывод о том, что смещение изображения в момент съемки относительно камеры было произведено именно в данном направлении – т.е., под углом  $45^\circ$ . Также, зная выдержку кадра для фото или частоту съёмки кадров для видео, расстояние до снимаемой области и разрешение изображения, можно сделать вывод о примерной экранной скорости движения камеры относительно снимаемой области, выраженной в пикселях.

Таким образом, анализ изображения на предмет анизотропного размытия имеет практическую ценность и может найти применение для определения направления движения камеры относительно снимаемой области, что в свою очередь может найти применение в компьютерном зрении, например, для задачи построения траектории движения роботизированного движущегося средства с закрепленной на нём видеокамерой. Также анализ анизотропного размытия может быть полезен в ситуации, когда движется не сама камера или снимаемая плоскость полностью, а лишь некоторый объект в кадре. В данном

случае это может найти применение для задачи поиска смазанной точки в кадре и слежения за содержимым в кадре без его непосредственного распознавания. Однако данная задача требует дополнительных исследований.

Также следует отметить, что в приведенном примере направление размытия совпало с одним из направлений, вдоль которых производился анализ уровня яркости. В реальных же ситуациях направление размытия почти всегда будет лежать вне направлений, заданных изначально. Для более точного определения направления смазывания необходим дальнейший анализ, чему посвящен один из дальнейших подразделов данной диссертации.

### 2.3 Преобразование RGB в HSV

Как было сказано в подразделе 1.4, RGB является стандартом для использования в цифровых камерах. Для получения значений яркости из кортежей для каждого пикселя в цветовом пространстве HSV необходимо конвертировать изображения из RGB в данный формат.

Преобразование из RGB в HSV осуществляется в следующей последовательности [15, 16]:

$$C_{max} = \max(R', G', B'), \quad (2)$$

$$C_{min} = \min(R', G', B'), \quad (3)$$

$$\Delta = C_{max} - C_{min}, \quad (4)$$

$$H = \begin{cases} 0^0, \Delta = 0 \\ 60 \times \left( \frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right), C_{max} = R' \\ 60 \times \left( \frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right), C_{max} = G' \\ 60 \times \left( \frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right), C_{max} = B' \end{cases} \quad (5)$$

$$S = \begin{cases} 0, C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}}, C_{max} \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$V = C_{max} \quad (7)$$

## 2.4 Поиск локальных экстремумов на графиках яркости

Для осуществления возможности сравнения графиков яркости необходимо введение численного параметра, характеризующего степень плавности графиков яркости. Была предложена гипотеза о том, что для решения этой задачи может быть полезным анализ графиков яркости на предмет локальных экстремумов.

Графики яркости строятся из значений яркости пикселей вдоль измеряемых направлений, т.е., являются табличными функциями, а не заданными аналитически. А, следовательно, поиск экстремумов таких функций путем анализа производной функции в данном случае не подходит [17]. Необходимо использовать перебор значений. Однако простой перебор путем отметки точек экстремума во всех местах на графике, где его возрастание сменяется убыванием (и наоборот) также не подходит вследствие наличия на изображениях цифрового шума, способного создать помехи для данного метода в виде ложных точек экстремума.

Подходящий способ – алгоритм скользящего среднего, находящий широкое применение в обработке графиков сигналов и статистике. Главный принцип алгоритма заключается в том, что на каждом шаге – т.е., для каждого значения – берется сумма заданного количества значений, которое определяется величиной окна, и делится на величину этого окна. Таким образом достигается усреднение текущего значения в совокупности с заданным величиной окна числом значений. Изменяя величину окна усреднения, можно получить большую или меньшую степень сглаживания, для чего обычно данный алгоритм и используется [18, 19]. Однако основной принцип данного алгоритма может быть полезным для определения локальных экстремумов. Усредняя значения яркости пикселей в некотором диапазоне, можно избежать определения ошибочных экстремумов из-за того, что из-за шума на изображении значения яркости могут в некоторых местах изменяться недостаточно однородно, вследствие чего линия графика может возрастать и убывать с помехами, что не соответствует общей картине изменения уровня яркости на изображении.

После определения точек локальных экстремумов графиков яркости необходимо определить метод получения меры плавности, на основе которой можно бы было сравнивать графики, построенные по разным направлениям.

Рассмотрим два графика яркости, созданные для демонстрации различного уровня степени смазанности изображения (рисунок 12). На данном рисунке график *n1* построен по направлению гипотетического изображения, вдоль которого происходит наиболее плавное изменение уровня яркости. График *n2* демонстрирует менее плавное изменение уровня яркости по сравнению с первым графиком.

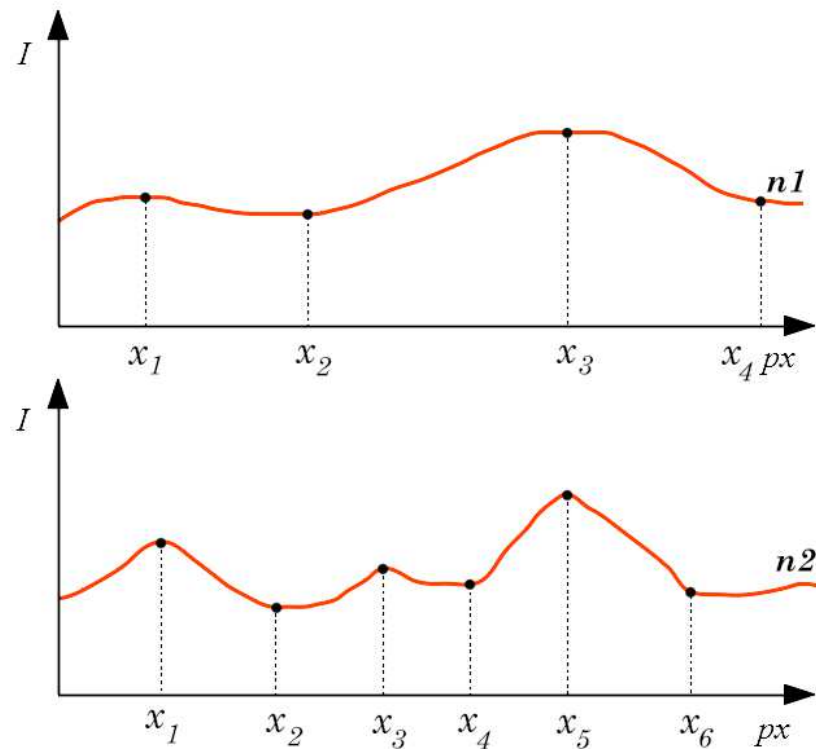


Рисунок 12 – Сравнение графиков яркости разной степени размытия

На приведенных графиках отмечены уже определенные точки локальных экстремумов. Как видно из рисунка, количество точек экстремумов для графика  $n1$  превышает количество точек экстремумов для такой же продолжительности на графике  $n2$ . Из чего можно сделать предположение о том, что данные об экстремумах графиков связаны со степенью плавности графиков.

В следующей главе будут рассмотрены различные способы использования данных об экстремумах графиков для получения численной величины, характеризующей степень гладкости графика, а, следовательно, и степень размытия по анализируемому направлению.

## 2.5 Получение численной величины степени размытия

Для перевода данных об экстремумах в численную форму можно воспользоваться несколькими способами – использовать просто общее

количество экстремумов на всем протяжении графика или использовать среднее расстояние между точками экстремумов. Само среднее также может быть нескольких видов, наиболее часто применяемые из которых – арифметическое, геометрическое и арифметическое среднее взвешенное.

Для описания численной величины степени размытия здесь и в дальнейшей работе предлагается использовать обозначение  $B$ .

Арифметическое среднее представляет собой сумму всех значений, деленное на их количество. Тогда предполагаемая формула величины степени размытия будет иметь вид:

$$B = \bar{x} = \frac{\sum x_i}{i} \quad (8)$$

Геометрическое среднее представляет собой произведение всех значений, из которого взят корень степени, равной количеству значений. Тогда предполагаемая формула величины степени размытия будет иметь вид:

$$B = \bar{x} = \sqrt[n]{x_1 * x_2 * \dots * x_n} \quad (9)$$

Арифметическое среднее взвешенное представляет собой обобщение среднего арифметического. В расчеты добавляются значения весов чисел – параметров, которые определяют, насколько то или иное значение имеет влияние на конечный результат среднего. При этом сумма всех весов не может быть равной нулю, хотя некоторые из них (но не все) могут принимать нулевое значение [20]. Тогда предполагаемая формула величины степени размытия будет иметь вид:

$$B = \bar{x} = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i} \quad (10)$$

В исследуемых случаях для получения численной величины размытия  $B$  в качестве усредняемых значений будут использоваться значения расстояний между точками экстремумов в пикселях.

Также необходимо определить, какой именно способ подходит лучше всего для получения максимально точно определяющей степень размытия численной величины. Для этого в 4 главе будет произведен сравнительный обзор результатов, полученных всеми приведенными в данном подразделе способами.

В случае с обычным подсчетом количества экстремумов на графике степень размытия вдоль этого направления будет обратно пропорциональна полученному значению, так как чем меньше на графике встречается точек перегиба, тем он более плавный.

В случае с расчетом средних значений степень размытия будет прямо пропорциональна данному значению, т.к. чем больше расстояние между точками экстремума, тем график более плавный.

## **2.6 Уточнение направления размытия**

В разрабатываемом методе сначала предлагается рассматривать графики яркости, построенные вдоль 6 заданных изначально направлений – расположенных на градусном круге с равными промежутками в 30%. Данное число направлений было выбрано как оптимальное вследствие того, что, если использовать квадратный формат размера изображения, данное расположение направлений позволяет составить сопоставимые по длине графики.

Данные направления продемонстрированы на рисунке 13.

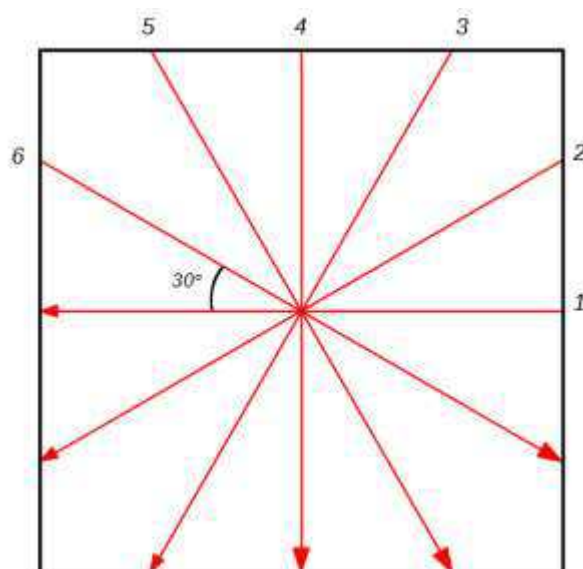


Рисунок 13 – Изначальные направления для построения графиков яркости

Для упрощения демонстрации в примере, рассмотренном в подразделе 2.2, направление размытия было выбрано такое, чтобы оно совпало с одним из четырех заданных направлений для анализа яркости. Однако в реальном анализе такие ситуации представляются маловероятными. Следовательно, необходим метод более точного определения направления анизотропного размытия изображения.

Предлагается два метода для уточнения направления анизотропного размытия после получения величин размытости для всех заданных изначально направлений – непосредственный *поиск* подходящего направления с введением в анализ дополнительных направлений и *аппроксимация*.

Поэтапное описание работы алгоритма поиска:

1. Выбираются два соседних направления с наибольшей степенью размытия по сравнению с остальными.

2. Посередине между выбранными направлениями строится дополнительное, вдоль которого также измеряется величина размытия.

3. Полученная степень размытия для нового направления сравнивается с двумя предыдущими. В случае, если она меньше любой из них, в качестве итоговой величины выбирается наибольшее из двух значений степеней,



определенных на первом шаге алгоритма, и в качестве направления смазывания выбирается направление, при анализе которого было получено данное значение.

4. В случае, если полученная степень размытия больше, чем две предыдущие или равна одной из них, она подставляется для дальнейшего анализа вместо направления, при анализе которого было получено наименьшее значение величины размытия. Далее, если прирост между наибольшим значением из двух изначальных и новым превышает заданное значение точности, алгоритм переходит на первый шаг, принимая обновленные значения как изначальные. Если заданная точность достигается, алгоритм завершается.

Демонстрация графической интерпретации добавления дополнительного направления для анализа представлена на рисунке 14.

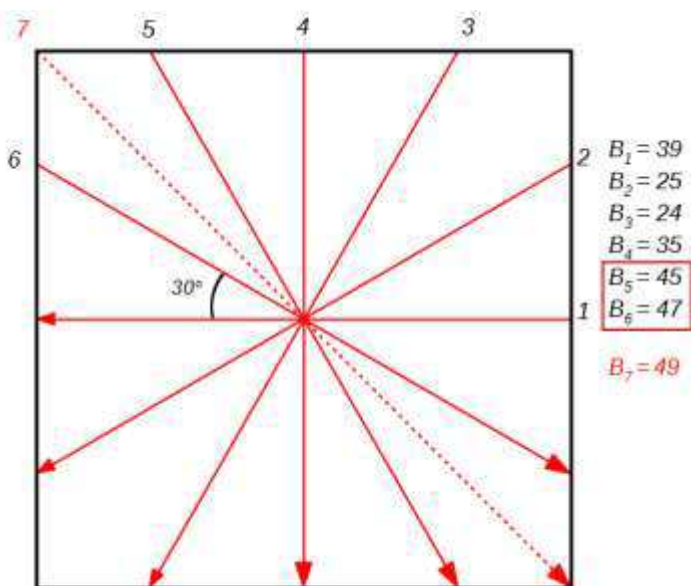


Рисунок 14 – Демонстрация добавления дополнительного направления

Для обозначения степени размытия были выбраны величины, прямо пропорциональные средним значениям, рассчитанным на основе расстояний между точками экстремумов на графиках яркости, построенных по отмеченным направлениям. Условные значения данных величин были выбраны специально

для демонстрации. Также было выбрано условное значение точности анализа, равное 5.

Как видно, наибольшие степени размытия для приведенного рисунка у направлений 5 и 6. Следуя вышеприведенному алгоритму, было построено дополнительное направление – 7. В ходе дальнейшего анализа было получено значение степени размытия для данного направления, которое превысило отмеченные ранее значения. И, так как разница между наибольшим из изначальных значений и полученным меньше заданной точности, дальнейший анализ не нужен, и направление 7 можно считать окончательным направлением, вдоль которого было произведено смазывание изображения.

Второй способ заключается в приблизительном вычислении направления смазывания на основе имеющихся значений о степенях размытия для изначально заданных направлений. Это можно реализовать, если ввести график зависимости величины размытия от градуса направления и аппроксимировать его.

Аппроксимация – научный метод получения промежуточных значений функции по заданному ограниченному количеству известных точек путем приближения значений кривой к этим точкам [21].

Для предыдущего примера отметим точки (рисунок 15) на графике, в котором отражена зависимость известных значений степени размытия от углов направлений, вдоль которых они были измерены.

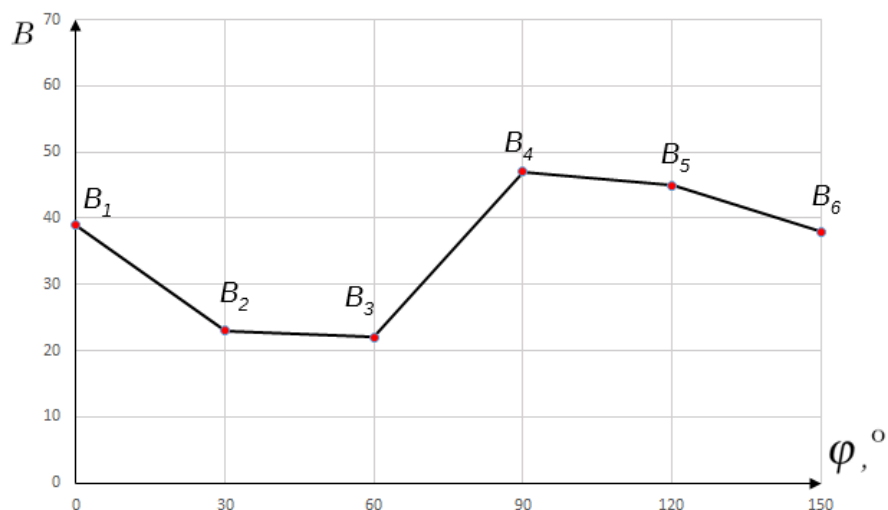


Рисунок 15 – График табличной функции зависимости степени размытия от угла измеряемого направления

Так как значения размытия являются точными и фиксированными для заданных направлений, необходимо использовать метод аппроксимации, при котором в результирующем графике входные точки сохраняют свое значение. Для этой задачи была выбрана интерполяция многочленом Лагранжа, которая является одним из способов аппроксимации, при котором таблица значений приближения должна иметь те же значения, что и у изначальной функции [22].

Пример результата интерполяции графика с рисунка 15 приведен на рисунке 16. Приближенная функция выделена светлым цветом.

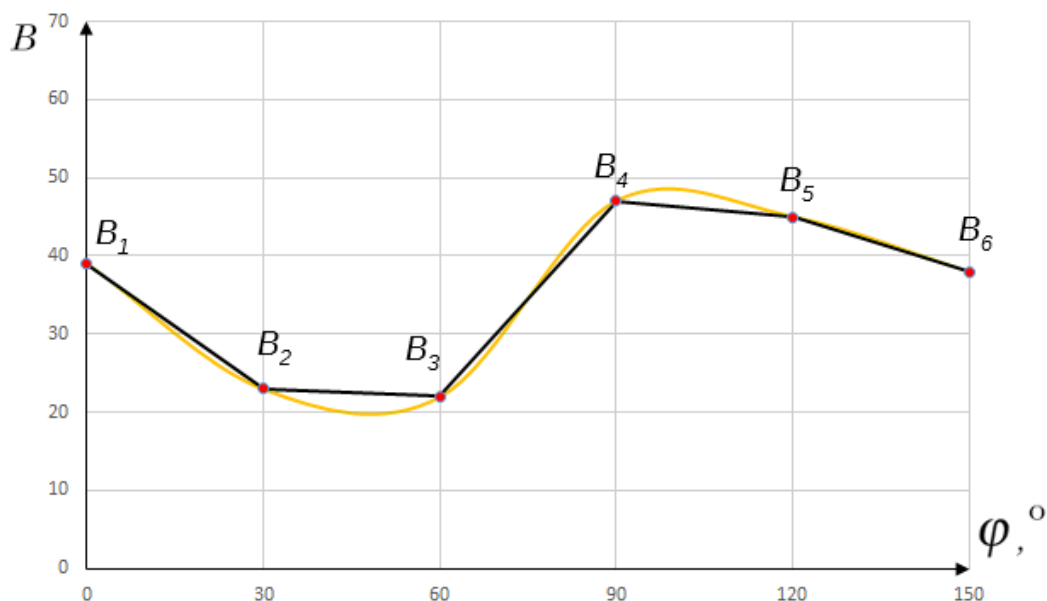


Рисунок 16 – Результат приближения функции методом интерполяции

После получения функции приближения, необходимо найти точку градуса, в которой достигается максимальное значение величины размытия. Данное значение градуса и будет углом направления, вдоль которого произошло смазывание изображения.

## 2.7 Получение матрицы яркости

Для построения графиков яркости необходимо получить значения яркости пикселей изображения, находящиеся на заданной для анализа прямой. Для чего в свою очередь необходима матрица, содержащая значения яркости для каждого пикселя изображения, или другими словами т.н. матрица яркости.

Подходящие для этой задачи значения содержатся в кортежах, описывающих цвет в цветовом пространстве HSV. Из трех значений, содержащихся в его кортежах  $[H, S, V]$ , где Hue – оттенок, S – насыщенность, V – значение цвета или яркость, необходимо третье – V. Данное значение изменяется в интервале  $[0, 1]$ , однако для удобства восприятия было

предложено преобразовать его в интервал  $[0, 100]$ , где 100 – максимальный уровень яркости, 0 – отсутствие яркости, черный цвет.

Таким образом, используя данные значения, можно составить матрицу яркости  $I$ , каждый элемент которой  $I[i, j]$  будет характеризовать уровень яркости для соответствующего пикселя изображения  $p[i, j]$ . Пример такой матрицы, которая для наглядности раскрашена в соответствии со значениями яркости, представлен на рисунке 17.

62	55	46	41	39	40	42	48	56	61
52	51	49	44	38	45	56	60	61	64
71	69	62	59	55	54	57	60	58	57
78	74	71	69	63	63	65	67	69	74
31	33	29	28	33	36	47	49	60	65
46	46	42	43	49	48	44	41	39	39
53	47	44	44	36	30	22	21	15	13
66	63	61	56	45	43	48	51	56	60
51	51	53	53	49	53	64	68	73	76
29	29	36	37	44	50	55	55	58	64

Рисунок 17 – Раскрашенная матрица яркости

## 2.8 Выводы по главе

В данной главе были рассмотрены различные виды размытия изображений и их причины, на основе чего было предложено использовать понятие изотропности для размытия. Таким образом, было введено два понятия – изотропное и анизотропное размытие, равномерное во всех направлениях и смазанное в направлении движения соответственно.

Использование понятия изотропности для анализа цифровых изображений предложено в данной работе впервые. Данный факт является элементом предполагаемой *новизны исследования* наряду с предложенным

методом определения направления смазанности изображения на основе данного понятия.

Для возможности разработки предложенного метода был рассмотрен способ получения матрицы яркости из значений, содержащихся в кортежах чисел, описывающих цветовое пространство HSV. Значения из этой матрицы предлагается использовать для построения графиков яркости, из которых, путем выделения локальных экстремумов и их анализа, можно получить величину размытия для анализируемого направления.

Рассмотрено несколько вариантов получения величины размытия. Сравнение эффективности данных вариантов рассмотрено в главе 4.

Также было предложено два способа уточнения направления размытия после анализа predetermined направлений для анализа. Сравнение эффективности данных способов также рассмотрено в главе 4 данной работы.

Результаты исследования и проектирования решения, приведенные в данной главе, позволили перейти к следующему этапу, а именно к практической разработке алгоритма, определяющего направление смещения изображения на основе анализа данных, извлеченных из видеопотока, или на основе обработки смазанных изображений.

### 3 Разработка

#### 3.1 Выбор инструментов разработки

Для проведения экспериментов, описываемых в главе 4, использовался персональный компьютер с характеристиками, представленными в таблице 1.

Таблица 1– Характеристики рабочей станции

Название параметра	Значение параметра
Наименование центрального процессора (ЦП)	Intel Core i5-9400f
Количество ядер ЦП	6
Базовая тактовая частота ЦП	2900 МГц
Максимальная тактовая частота ЦП	4100 МГц
Объем памяти кэша L3	9 Мб
Объем оперативной памяти	16 Гб
Тип оперативной памяти	DDR4
Тактовая частота оперативной памяти	2666 МГц
Наименование видеоадаптера	GeForce RTX 2060
Кодовое название графического процессора (ГП)	TU106
Базовая частота ГП	1365 МГц
Максимальная частота ГП	1680 МГц
Объем видеопамати	6 Гб
Тип видеопамати	GDDR6

В качестве языка программирования (ЯП) предлагается выбрать Object Pascal. В качестве среды разработки и компилятора – Lazarus и Free Pascal соответственно.

Данный выбор обусловлен тем, что разрабатываемый алгоритм предполагается использовать в качестве модуля в уже существующем программном продукте – в WayTracer, который написан именно с применением данных средств разработки. Более подробно данный программный продукт будет рассмотрен в следующем подразделе.

### 3.1 WayTracer

Разработка алгоритма производилась на основе программного обеспечения (ПО) WayTracer, так как в работе использовался реализованный ранее диспаратный алгоритм обработки изображений [2].

Данное ПО выполняет задачу построения траектории движения ТС с закрепленной на нем камерой, снимающей дорожную поверхность. Данная задача решается путем сравнения двух кадров, идущих подряд, извлеченных из видеопотока, и поиска в них повторяющихся областей пикселей. На основе чего делается вывод о том, в каком направлении и на какое расстояние, выраженное в пикселях, произошло смещение изображения в кадре.

Главное окно программы представлено на рисунке 18.

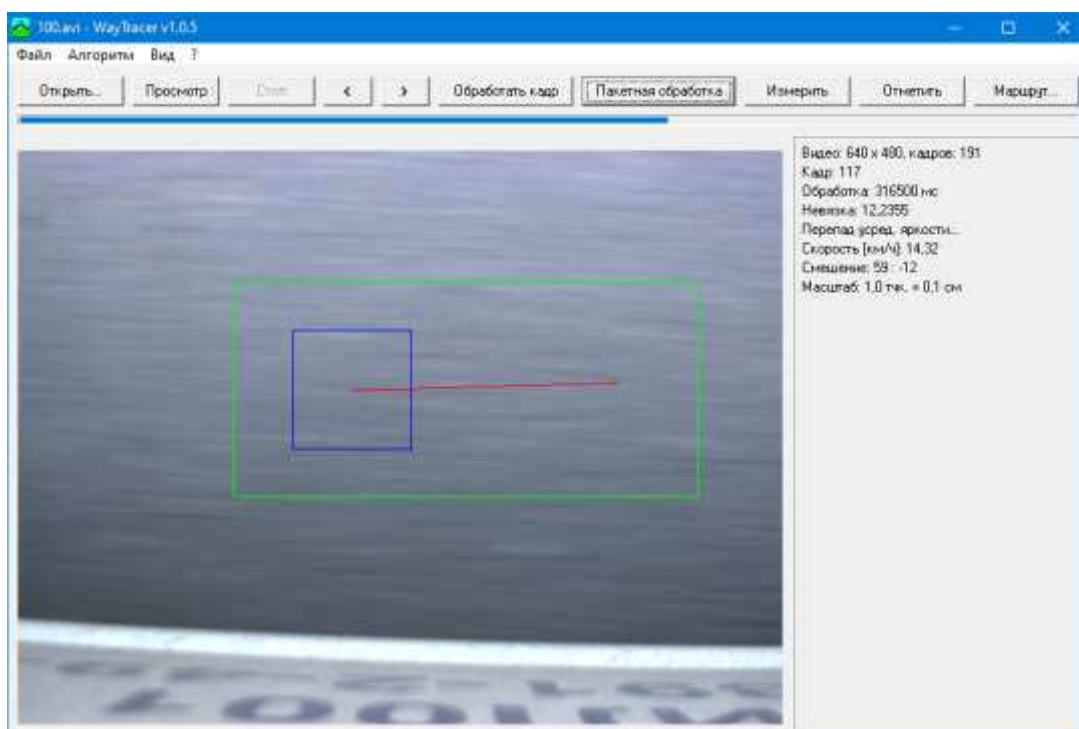


Рисунок 18 – Скриншот главного окна WayTracer

Также данное ПО позволяет измерить расстояние между отмеченными на кадре точками в пикселях. При соответствующей подготовке в виде помещения в кадр съемки объекта с известными реальными размерами можно задать



достоверный масштаб соответствия пикселей сантиметрам в соответствующем окне (рисунок 19). На основе этого масштаба вычисляется реальная скорость смещения изображения в кадре.

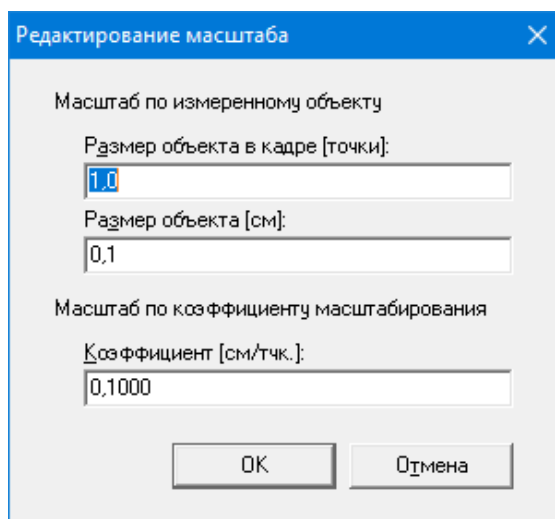


Рисунок 19 – Скриншот окна редактирования масштаба

Результатом работы программы является список кадров с отмеченным смещением и скоростью относительно каждого предыдущего кадра (рисунок 20).

№ Кадра / Время [с]	Смещение [тчк.]	Скорость
6 / 0,091	-27 : 0	6,42
7 / 0,106	176 : 3	41,87
8 / 0,121	-50 : -2	11,90
9 / 0,136	-7 : -4	1,92
10 / 0,151	2 : -4	1,06
11 / 0,166	1 : 1	0,34
12 / 0,182	-22 : -7	5,49
13 / 0,197	-50 : 1	11,89
14 / 0,212	204 : -2	48,52
15 / 0,227	-50 : -20	12,81
16 / 0,242	81 : -4	19,29
17 / 0,257	50 : -12	12,23
18 / 0,272	74 : 32	19,18
19 / 0,288	218 : 0	51,85
20 / 0,303	108 : -7	25,74
21 / 0,318	240 : 26	57,42
22 / 0,333	177 : 4	42,11
23 / 0,348	-27 : -6	6,58
24 / 0,363	-38 : 18	10,00

Рисунок 20 – Скриншот окна результатов работы программы

### **3.2 Описание работы алгоритма и его характеристики**

На основе исследований, о результатах которых рассказано в главе 2, был разработан общий алгоритм, определяющий направление смещения изображения.

Данный алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Получение кадра из видеопотока или отдельного изображения.
2. Преобразование цветового пространства изображения из RGB в HSV.
3. Получение значений яркости из кортежей HSV для каждого пикселя изображения и составление его матрицы яркости из этих значений.
4. Построение графиков яркости для заданных направлений анализа.
5. Нахождение экстремумов полученных графиков и вычисление величин, характеризующих степень размытия для данных направлений.
6. Уточнение направления, вдоль которого было осуществлено смазывание.

Разработка данного алгоритма проходит с использованием кода ПО WayTracer, так как разрабатываемый алгоритм является элементом расширения его функциональности путем добавления и модификации существующих модулей, классов и методов.

#### **3.2.1 Получение и подготовка изображения**

Для корректного сравнения графиков яркости при использовании метода подсчета локальных экстремумов для определения величины размытия необходимо соблюдать соразмерность длины анализируемых графиков.

Поэтому было предложено для анализа, после получения, изображение обрезать до пропорций квадрата. Тогда при использовании направлений, выбранных во второй главе данной работы, достигается приблизительная

идентичность длины данных направлений по сравнению с другими выборами направлений.

После обрезки изображения, его формат цветового представления преобразовывается из RGB в HSV. Из кортежей, описывающих полученное цветовое пространство, берутся значения яркости и, путем умножения их на 100, приводятся к распределению на интервале [0, 100]. Из полученных изображений составляется матрица яркости.

Класс для хранения обрабатываемых изображений представлен на рисунке 21.

```
TPixelData = class
public
    //наибольшие индексы пикселей по горизонтали и вертикали
    edgeX, edgeY : integer;
    //массив пикселей (условная гамма)
    data : array of array of integer;
    //массив для хранения матрицы яркости
    databright : array of array of integer;
    //получение размеров изображения по горизонтали
    function SizeX : integer;
    //получение размеров изображения по вертикали
    function SizeY : integer;
    //подготовка буфера для хранения данных
    procedure PrepareData(const SizeX, SizeY : integer);
    //получение массива пикселей из TCanvas
    procedure GetData(const Src : TCanvas; const SrcRect : TRect);
    //получение значений яркости из кортежей HSV
    function GetDataBright(const Src : TCanvas; const SrcRect : TRect);
end;
```

Рисунок 21 – Класс для хранения обрабатываемых изображений

### 3.2.2 Уравнения прямых для анализируемых направлений

Общий вид уравнения прямой представлен в формуле (11).

$$y = kx + b,$$

(  
11)

где  $k$  – угловой коэффициент;

$b$  – параметр, обозначающий величину отрезка, отсекаемого прямой на оси  $Oy$ , считая от начала координат [23].

При этом, в данной формуле можно опустить значение параметра  $b$ , так как необходимо лишь задание наклона прямой, которая строится из центра изображения.

Значение углового коэффициента рассчитывается по формуле (12).

$$k = tg \alpha, \tag{12}$$

где  $\alpha$  – необходимый угол наклона от оси  $Ox$  [23].

Принимая значения углов 0, 30, 60, 90, 120 и 150 градусов в соответствии с направлениями, выбранными во второй главе, для вычисления уравнений прямых, вдоль которых они будут построены, используются следующие формулы:

$$y^{0^{\circ}} = tg0^{\circ}x = 0, \tag{13}$$

$$y^{30^{\circ}} = tg30^{\circ}x = \frac{1}{\sqrt{3}}x, \tag{14}$$

$$y^{60^{\circ}} = tg60^{\circ}x = \sqrt{3}x, \tag{15}$$

$$y^{120^{\circ}} = tg120^{\circ}x = -\sqrt{3}x, \tag{16}$$

$$y^{150^\circ} = \operatorname{tg}150^\circ x = -\frac{1}{\sqrt{3}}x \quad (17)$$

Так как значения тангенса для угла в  $90^\circ$  не существует, уравнение составить невозможно. Вместо этого для данного направления используется вертикальная линия в точке  $x = 0$ .

### 3.2.3 Перевод экранных координат в декартовы

В программе обращение к значениям в матрицах происходит по индексам, которые соответствуют т.н. экранной системе координат (СК). В данной СК, если применить ее к анализируемому изображению, начало координат лежит в левом верхнем углу. Значения координат  $y$  (или  $i$ ) и  $x$  (или  $j$ ) возрастают по направлению вниз и направо соответственно. Все значения координат являются положительными.

Однако формулы, приведенные в пункте 3.2.2, используют значения координат в прямоугольной или декартовой СК. Прямоугольная СК на плоскости образуется двумя взаимно перпендикулярными осями координат. Оси координат пересекаются в точке, которая называется началом координат, на каждой оси выбрано положительное направление [24].

Поэтому, для вычисления индексов элементов в прямоугольной системе координат используются формулы (18) и (19).

$$x_{\text{п}} = j - \frac{m}{2}, \quad (18)$$

$$y_{\text{п}} = -i + \frac{m}{2}, \quad (19)$$

где  $m$  – значение максимального индекса ширины/высоты квадратной матрицы яркости.

### 3.2.4 Вычисление величин размытия

После получения графиков яркости для заданных направлений, определяются точки их локальных экстремумов. Укрупненная блок-схема алгоритма, решающего эту задачу с применением главного принципа алгоритма скользящего среднего, приведена на рисунке 22.

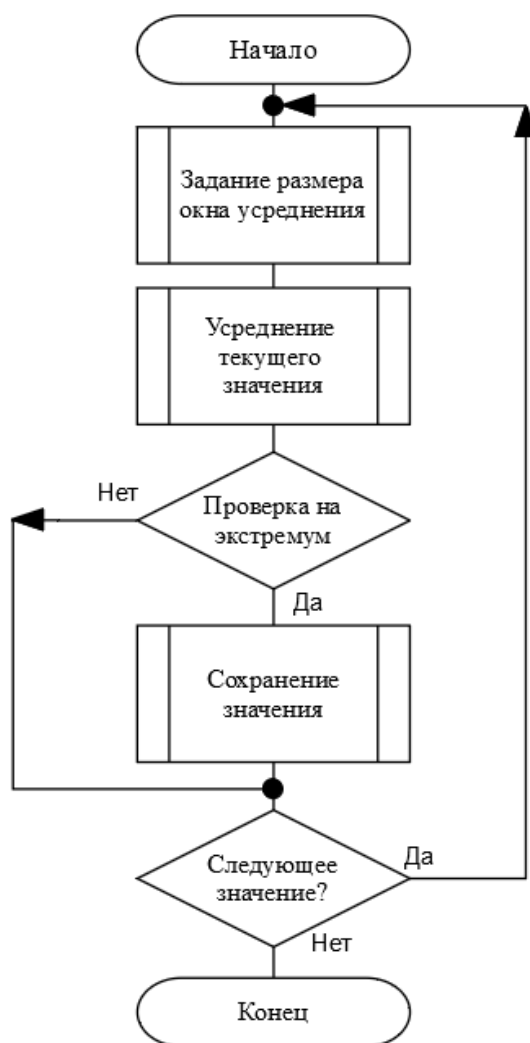


Рисунок 22 – Блок-схема алгоритма определения экстремумов графика яркости

После получения списка происходит вычисление величины размытия способами, описанными в подразделе 2.4 данной работы. В качестве весов значений для вычисления методом среднего взвешенного было принято использовать частоту встречаемости значений, так как данный параметр можно вычислить без экспертной оценки или анализа человеком, вследствие которого бы была определена степень влияния тех или иных значений на результат.

### 3.2.5 Уточнение направления

Блок-схема алгоритма уточнения направления смазывания путем введения дополнительных направлений для анализа приведена на рисунке 23.

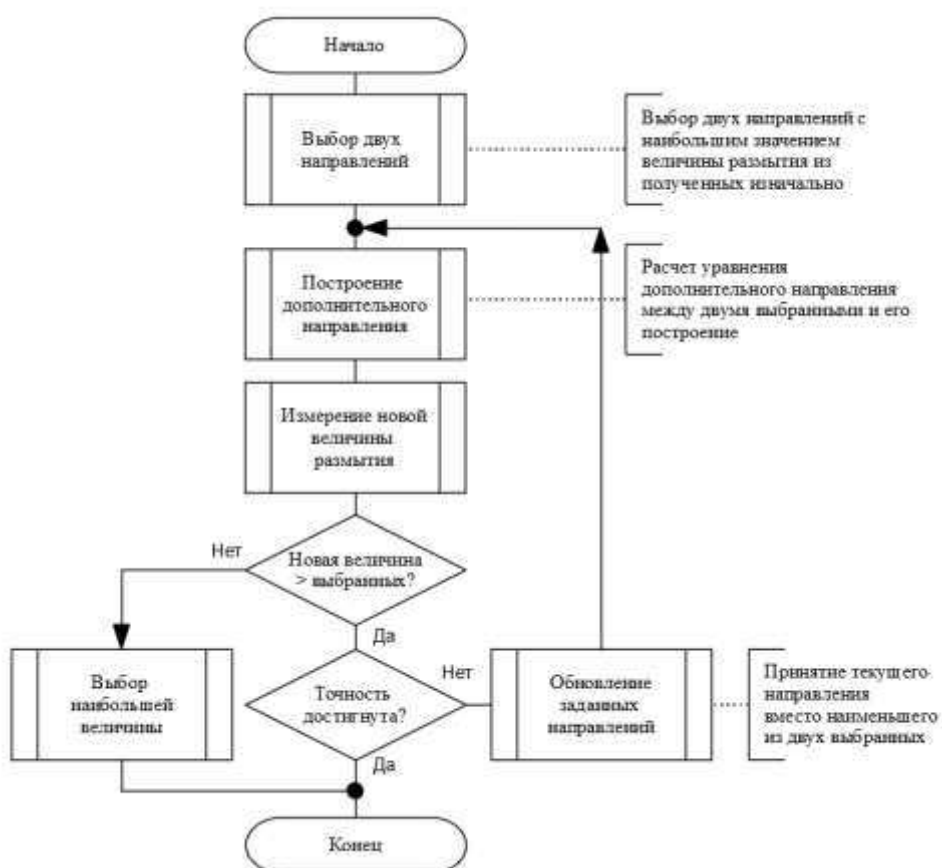


Рисунок 23 – Блок-схема поиска направления смазывания путем введения дополнительных направлений для анализа

Укрупненная блок-схема алгоритма уточнения направления путем вычисления приближенной функции к табличной функции зависимости степени размытия от угла анализируемых направлений представлена на рисунке 24.



Рисунок 24 – Блок-схема алгоритма уточнения направления смазывания путем аппроксимации

Осуществление аппроксимации, как это было описано в подразделе 2.5, происходит путем вычисления интерполяционного многочлена Лагранжа.

Общая формула интерполяционного многочлена Лагранжа выглядит следующим образом [25]:



$$L(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x) \quad (20)$$

Базисные полиномы при этом определяются следующим образом:

$$l_i(x) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \quad (21)$$

При этом каждый базисный полином имеет степень  $n$ , равен 1 при  $j = i$  и равен 0 в остальных случаях.

Так как для построения графика табличной функции зависимости степени размытия от угла используются шесть точек (по количеству заданных изначально направлений для анализа), интерполяционный многочлен в данном случае является многочленом пятой степени, и его полиномы будут выглядеть следующим образом:

$$l_0(x) = \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} * \frac{x - x_2}{x_0 - x_2} * \frac{x - x_3}{x_0 - x_3} * \frac{x - x_4}{x_0 - x_4} * \frac{x - x_5}{x_0 - x_5}, \quad (22)$$

$$l_1(x) = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} * \frac{x - x_2}{x_1 - x_2} * \frac{x - x_3}{x_1 - x_3} * \frac{x - x_4}{x_1 - x_4} * \frac{x - x_5}{x_1 - x_5}, \quad (23)$$

$$l_2(x) = \frac{x - x_0}{x_2 - x_0} * \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} * \frac{x - x_3}{x_2 - x_3} * \frac{x - x_4}{x_2 - x_4} * \frac{x - x_5}{x_2 - x_5}, \quad (24)$$

$$l_3(x) = \frac{x - x_0}{x_3 - x_0} * \frac{x - x_1}{x_3 - x_1} * \frac{x - x_2}{x_3 - x_2} * \frac{x - x_4}{x_3 - x_4} * \frac{x - x_5}{x_3 - x_5}, \quad (25)$$

$$l_4(x) = \frac{x - x_0}{x_4 - x_0} * \frac{x - x_1}{x_4 - x_1} * \frac{x - x_2}{x_4 - x_2} * \frac{x - x_3}{x_4 - x_3} * \frac{x - x_5}{x_4 - x_5}, \quad (26)$$

$$l_5(x) = \frac{x - x_0}{x_5 - x_0} * \frac{x - x_1}{x_5 - x_1} * \frac{x - x_2}{x_5 - x_2} * \frac{x - x_3}{x_5 - x_3} * \frac{x - x_4}{x_5 - x_4} \quad (27)$$

### 3.3 Блок-схема основного алгоритма

Укрупненная блок-схема работы основного алгоритма, составленная на основе исследований, приведенных в главе 2, приведена на рисунке 25.



Рисунок 25 - Укрупненная блок-схема основного алгоритма

### 3.4 Выводы по главе

В данной главе были описаны инструменты разработки программного продукта, выбранные для реализации предложенного алгоритма.

Также было приведено описание ПО WayTracer, реализующего предложенный ранее диспаратный алгоритм обработки изображений. Данное ПО является основой для разрабатываемого алгоритма, который, в свою очередь, является расширением функциональности данного программного проекта.

Был разработан общий алгоритм, реализующий определение направления наибольшей смазанности на изображении, вследствие чего делается вывод о направлении смещения изображения в кадре. А также были приведено описание модулей алгоритма, реализующих функции расчета степени размытия для анализируемых направлений и получения итогового направления наибольшей смазанности

После анализа заданных направлений для анализа, уточнение направления наибольшей смазанности может производиться или путем поиска с введением дополнительных направлений, или аппроксимацией значения функции зависимости степени размытия от угла измерения и поиска максимального значения приближенной функции.

Разработка алгоритма, описанная в данном разделе, позволила перейти к получению результатов, описанных в следующем разделе данной работы.

## 4 Результаты исследования

### 4.1 Материалы для анализа

Был составлен набор базовых данных для тестирования алгоритма, состоящий из изображений различного разрешения и с различными параметрами направления и степени смазанности. В данный набор вошли как реальные смазанные изображения, полученные в результате смещения камеры во время съемки, так и изображения со смоделированным размытием с разными параметрами. Часть данного набора представлена на рисунке 26.

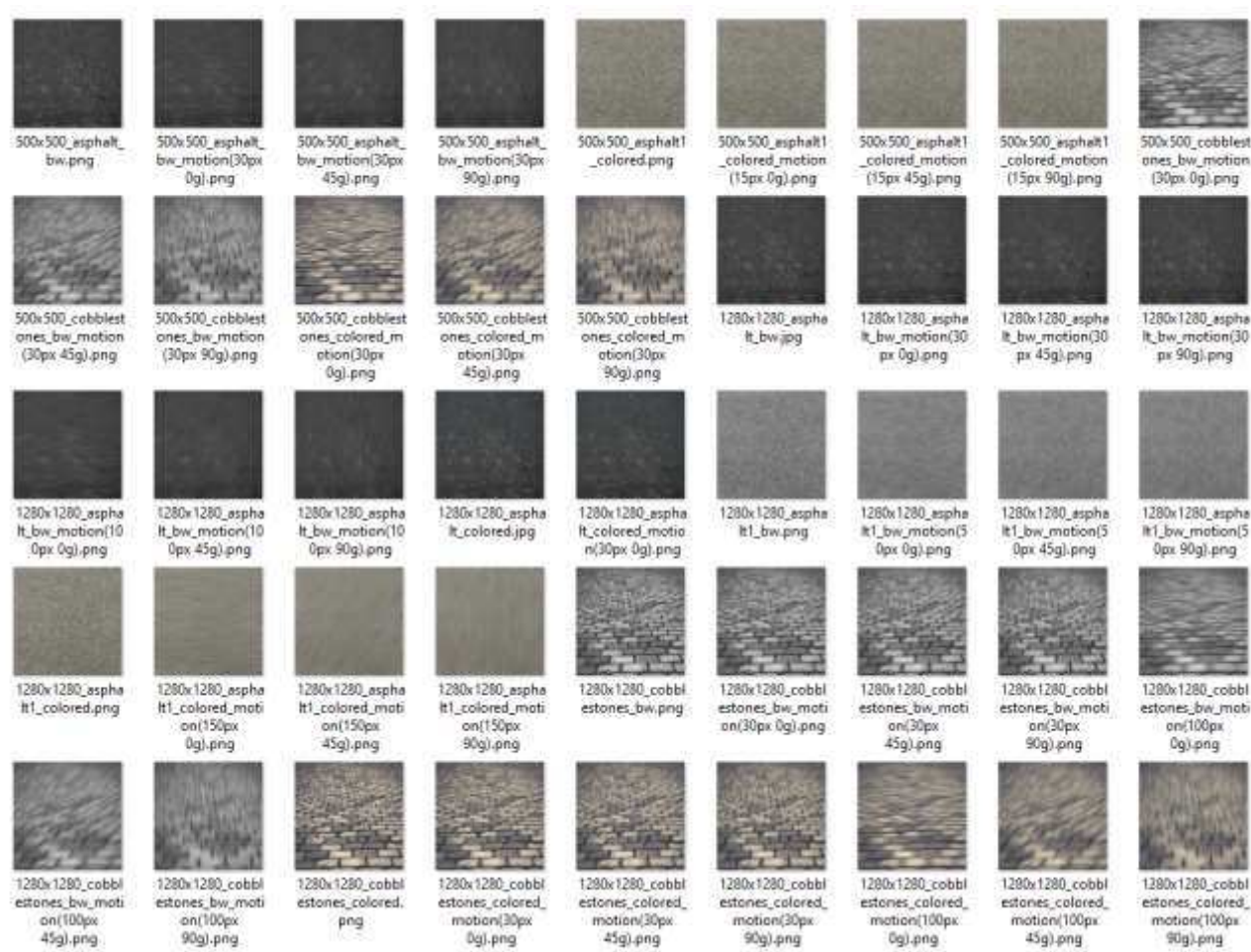


Рисунок 26 – Часть базы изображений с различными параметрами для тестирования алгоритма

## 4.2 Оцениваемые критерии и характеристики

Оценка производительности алгоритма сопоставления изображений является основой для оценки его достоинств и недостатков. По причине разных областей, целей исследований и различных прикладных сценариев сопоставления изображений сложно оценить эффективность алгоритма с единым стандартом. Поэтому, как правило, используются различные метрики для всесторонней их оценки. Часто используемые показатели оценки эффективности алгоритма – точность, ложные срабатывания и оценка соответствия [26].

Также наряду с метриками используются статистические методы.

Так как в тестовом наборе данных есть изображения с изначально известными и заданными направлениями размытия, возможно определить точность работы алгоритма путем вычисления отношения вычисленного градуса направления смазывания изображения к заданному изначально, выраженного в процентах. Таким образом, для случая, когда заданный угол меньше вычисленного, формула погрешности определения направления размытия будет иметь следующий вид:

$$Inaccuracy = \varphi_{\text{вычисленный}} - \varphi_{\text{заданный}} \quad (28)$$

Однако получившееся значение может быть оказаться меньше, чем заданное, для данного случая формула будет следующей:

$$Inaccuracy = \varphi_{\text{заданный}} - \varphi_{\text{вычисленный}} \quad (29)$$

### 4.3 Влияние размера окна для определения экстремумов графиков яркости на работу алгоритма

Как было определено в подразделе 2.3, для вычисления численной величины размытия необходимо определить точки экстремумов графиков яркости с применением главного принципа алгоритма скользящего среднего.

Для данного алгоритма необходимо задать размер окна усреднения. Так как для анализа могут использоваться изображения с различным разрешением, размер окна усреднения для соразмерности значения задается в виде процента от разрешения изображения.

Для анализа влияния размера окна усреднения для определения экстремумов графиков яркости на работу алгоритма была составлена таблица зависимости количества экстремумов от размера окна усреднения. Для эксперимента было взято изображение размером 100x100 пикселей с направлением размытия  $0^\circ$ . Результаты данного анализа отображены в таблице 2.

Таблица 2 – Количество найденных экстремумов в зависимости от размера окна усреднения

Угол направления для анализа, $^\circ$	Кол-во найденных экстремумов с окном усреднения 1%	Кол-во найденных экстремумов с окном усреднения 3%	Кол-во найденных экстремумов с окном усреднения 5%
0	29	15	13
30	51	25	16
60	66	30	24
90	73	33	27
120	62	27	22
150	53	26	17

Видно, что с увеличением окна усреднения количество экстремумов для разных направлений уменьшается несоразмерно. Данная картина возникает вследствие того, что на одной продолжительности графика для разных

направлений анализа (а, следовательно, и для разной степени размытия) изначально содержится разное распределение точек экстремума. Для направления, совпадающего с направлением размытия, количество точек экстремума может быть в несколько раз меньше, чем для направления, которое ему перпендикулярно.

Результат сглаживания графиков яркости для направления, совпадающего с направлением размытия, и для перпендикулярного ему, полученные в ходе поиска экстремумов с использованием метода скользящего среднего, представлены на рисунке 27.

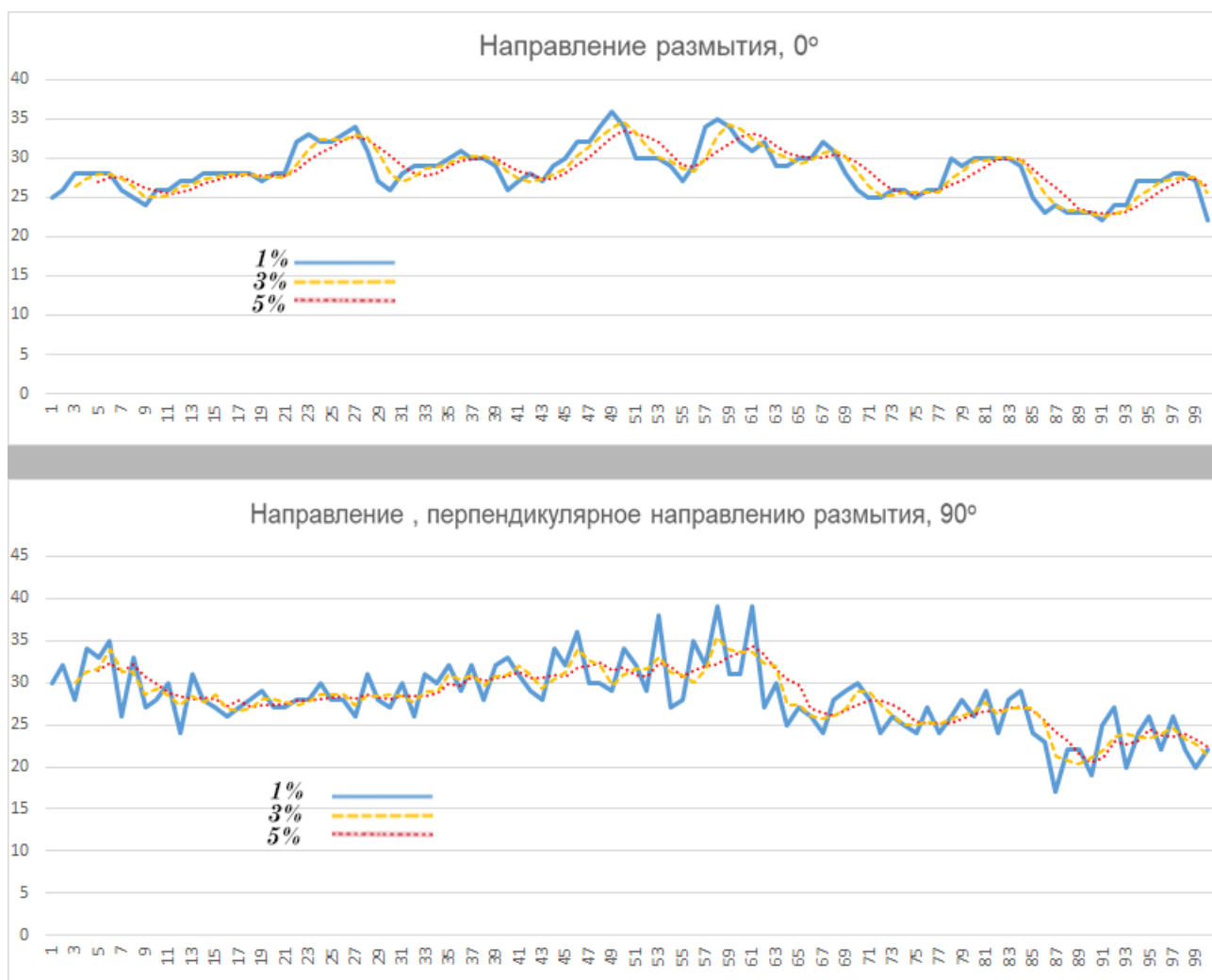


Рисунок 27 – Графики яркости, сглаженные различной величиной скользящего среднего

Таким образом, выбор чрезмерно большого окна усреднения влияет на расчет величины размытия. Она становится менее выраженной, что может повлиять на определение направления наибольшего размытия, а, следовательно, и на качество работы алгоритма.

#### **4.4 Сравнение способов получения численной величины степени размытия**

Для анализа эффективности определения численной величины размытия различными способами они были рассчитаны для двух направлений – вдоль известного направления смазывания (в данном случае это  $0^\circ$ ) и перпендикулярно ему ( $90^\circ$  соответственно). Усредняемые значения расстояний между точками экстремумов измерялись в пикселях.

Наиболее маленькие значения расстояний имеют наименьшее влияние на результат вследствие того, что они могут быть вызваны цифровым шумом. Поэтому в качестве значений весов для вычисления среднего арифметического взвешенного были использованы порядковые номера величины расстояния. Так, например, для значений массива [1, 4, 7, 5] веса бы распределились следующим образом: [1, 2, 4, 3].

Данные значения были посчитаны для набора изображений из сформированной тестовой базы изображений одинакового размера с одинаковыми параметрами размытия, после чего данные значения рассчитанных величин были занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Сравнительная таблица величин размытия, полученных различными способами

Номер попытки	Кол-во экстремумов	Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Среднее арифметическое взвешенное
---------------	--------------------	------------------------	------------------------	-----------------------------------



	для 0°	для 90°	для 0°	для 90°	для 0°	для 90°	для 0°	для 90°
1	30	66	3,56	1,5	3,02	1,36	4,54	1,83

Продолжение таблицы 3

Номер попытки	Кол-во экстремумов		Среднее арифметическое		Среднее геометрическое		Среднее арифметическое взвешенное	
	для 0°	для 90°	для 0°	для 90°	для 0°	для 90°	для 0°	для 90°
2	28	56	3,64	1,82	2,67	1,59	5,65	2,43
3	18	58	5,88	1,77	4,61	1,54	8,03	2,38
4	33	54	3,09	1,9	2,34	1,62	4,87	2,58
5	36	51	2,86	1,98	2,24	1,71	4,74	2,86

На основе данных из таблицы 3 был рассчитан коэффициент того, насколько выражено тот или иной способ вычисления среднего показывает разницу между максимальным и минимальным значением размытия. Результаты данных расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Коэффициенты различия между наибольшими и наименьшими величинами размытия

Номер попытки	Коэф. для кол-ва экстремумов	Коэф. для среднего арифметического	Коэф. для среднего геометрического	Коэф. для среднего арифметического взвешенного
1	2,20	2,37	2,22	2,48
2	2,00	2,00	1,68	2,33
3	3,22	3,32	2,99	3,37
4	1,64	1,63	1,44	1,89
5	1,42	1,44	1,31	1,66

Как видно, среднее арифметическое взвешенное дает наибольшую величину коэффициентов, а значит, показывает наиболее выраженное различие между значениями величины размытия в паре значений наиболее ярко.

Следовательно, для определения численной величины размытия рекомендовано использовать именно среднее арифметическое взвешенное расстояний между экстремумами графиков яркости.

## 4.5 Сравнение способов уточнения направления

В разделе 2.6 было предложено два способа уточнения направления размытия после анализа тех направлений, что заданы изначально.

Для сравнения точности этих способов был проанализирован некоторый набор данных с использованием разрабатываемого алгоритма. В данный набор были включены изображения с различными изначально заданными направлениями размытия.

Результаты данного анализа отражены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнение результатов, полученных различными способами уточнения направления

Номер попытки	Заданное направление размытия, °	Результаты, полученные				
		методом прямого поиска			аппроксимацией	
		Направление, °	Погрешность результата, °	Количество дополнительных направлений	Направление, °	Погрешность результата, °
1	45	45	0	2	46,7	1,7
2	64	67,5	3,5	3	65,97	1,97
3	135	135	0	2	132,86	2,14
4	17	18,75	1,75	4	18,9	1,9
5	127	127,5	0,5	2	125,38	1,62

Как видно, оба предложенных способа дают приблизительно схожие результаты. Однако для способа прямого поиска подходящего направления с введением дополнительных связано увеличение сложности расчетов, так как для каждого добавленного направления необходимо строить графики яркости и каждый раз заново анализировать их для данного направления. Чем точнее требуется результат, тем больше необходимо проанализировать дополнительных направлений – до достижения заданной точности. Исходя из этого, для приблизительного выявления направления целесообразнее будет использовать способ вычисления уточненного направления при помощи именно интерполяционного многочлена Лагранжа. Для более точного, но

вычислительно затратного определения направления можно использовать поиск.

#### **4.6 Анализ точности работы алгоритма при различных параметрах размытия**

Для демонстрации работы разработанного алгоритма была поставлена задача определения направления смещения изображения на тестовом наборе данных, определенных в подразделе 4.1.

Выбранный датасет представляет собой набор, сформированный с версиями одного изображения с различной изначально известной величиной размытия в пикселях, что соответствует движению камеры с различной скоростью или съемке с различной выдержкой/частотой записи кадров для фото и видео соответственно. Для данных изображений были посчитаны коэффициенты того, которые показывают разницу между максимальным и минимальным значением размытия вдоль двух направлений – совпадающему с заданным и перпендикулярным ему.

Сравнение результатов, полученных для такого набора данных, представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты работы алгоритма при различных параметрах размытия

Номер попытки	Величина размытия заданная, px	Коэффициент разницы величин размытия для противоположных направлений
1	30	2,48
2	50	3,23
3	100	6,84
4	200	22,72
5	300	28,9

Как видно, с возрастанием известной смазанности на изображении коэффициенты разницы между величинами размытия для противоположных направлений только растут. Следовательно, увеличение смазанности на изображении приводит лишь к увеличению точности работы алгоритма.

#### 4.7 Результаты работы алгоритма

Для демонстрации работы разработанного алгоритма была поставлена задача определения направления смещения изображения на тестовом наборе данных, определенных в подразделе 1.1.

Результаты обработки выбранных изображений приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты работы алгоритма

Номер попытки	Разрешение изображения, px	Величина размытия заданная, px	Определенная численная величина размытия	Направление размытия, °
1	100	30	6,46	0
2	100	10	3,42	46,78
3	500	30	5,86	90
4	500	100	7,92	127,91
5	100	50	8,53	78,07

#### 4.8 Недостатки алгоритма

Различные физические помехи кадра, такие как грязь на объективе, могут привести к некорректной работе алгоритма. Так как области, на которых не содержится размытия, будут анализироваться наравне с нормальными областями, участвуя в построении графиков яркость. Задача улучшения устойчивости алгоритма перед помехами в кадре, как и их определение, является возможным направлением для исследований по данной теме.

Также предложенный алгоритм позволяет найти угол направления, но при этом полученное направление смазывания является двунаправленным – т.е., невозможно определить в какую именно сторону из двух возможных по найденному направлению происходит смещение изображения. Однако в

совокупности с алгоритмом, используемом в ПО WayTracer, возможно получить однозначное решение данного вопроса. При этом, разработанный алгоритм позволяет анализировать изображения в таких случаях, когда основной алгоритм WayTracer начинает выдавать некорректные результаты вследствие слишком большой смазанности.

#### **4.9 Перспективы для развития**

Разработанный алгоритм является дополнением и расширением функционала алгоритма ПО WayTracer. Дальнейшие перспективы заключаются в развитии данного ПО с добавлением новых функций и методов дополнительной обработки цифровых изображений. Так, например, одно из возможных направлений для развития – определение пригодности изображения для анализа путем вычисления его энтропии, которая показывает, насколько изображение хаотично. Если информация в кадре недостаточно разнообразна, алгоритм сравнения регионов, представленный в WayTracer, а также предложенный алгоритм определения направления смазывания может давать недостаточно достоверные результаты.

Проблемным местом разработанного алгоритма являются физические помехи в кадре – такие, как, например, грязь на объективе, которая не позволяет правильным образом оценивать графики яркости. Возможное направление развития заключается в определении помех в кадре и исключении данных регионов из анализа, или учета их особым образом.

Также предложенный метод может найти применение для различных задач путем комбинации с другими алгоритмами обработки изображений. Например, для определения траектории движения камеры при съемке с динамично меняющимся освещением в кадре – для определения регионов с различным уровнем освещения путем исследования матрицы яркости и определения контрастности графиков яркости в разных участках изображения.

Еще одним вариантом для дальнейшего усовершенствования алгоритма и исследования по данной теме является оптимизация работы алгоритма для возможности обработки видео в режиме реального времени. Данная задача требует исследований в области специальных методов программирования с использованием специализированных аппаратных блоков процессоров и видеокарт.

#### 4.10 Апробация результатов

Результаты данного исследования были представлены на Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный 2021» (рисунок 28).



Рисунок 28 – Сертификат участия в Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный 2021»

#### 4.11 Выводы по главе

В данной главе были проанализированы результаты получения величины размытия различными способами – путем вычисления среднего арифметического, геометрического или арифметического взвешенного расстояний между точками экстремумов графиков яркости анализируемых направлений на изображении. В результате для использования был рекомендован способ получения величины размытия при помощи среднего арифметического взвешенного.

Кроме того, были рассмотрены и проанализированы способы уточнения направления смазывания. Был произведен анализ точности работы алгоритма при различной степени изначально известной смазанности, в результате которого было установлено, что большие скорости движения камеры и низкая частота съемки кадров, вследствие которых возникает увеличение смазанности, не только не являются помехой для работы алгоритма, но и наоборот помогают уточнить его работу путем получения более ярко выраженных величин размытия. Кроме того, данный факт позволяет удешевить стоимость необходимой фотоаппаратуры, так как не требуются камеры с достаточно продвинутыми характеристиками, которые бы позволяли вести запись с большой частотой кадров.

Для демонстрации работоспособности концепции были приведены примеры и результаты работы разработанного алгоритма. Таким образом, можно заключить, что в данной главе была подтверждена эффективность предложенного метода экспериментальным путем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы над данной магистерской диссертацией было проведено исследование различных видов размытия изображения и их влияние анализ изображений, на основе чего было предложено использование понятия изотропности для размытия изображений. На основе свойств данного понятия был разработан метод анализа размытия и получения его численной величины и метод определения направления смазывания изображения. На основе данных методов была произведена разработка алгоритма, определяющего направление смещения в кадре и направление движения камеры относительно снимаемой области. Для демонстрации работоспособности концепции была составлена база изображений с различными параметрами и степенью размытия для последующего тестирования разрабатываемого алгоритма.

Эффективность предложенного метода и разработанного алгоритма подтверждена экспериментальными исследованиями, представленными в главе 4.

Разработанный алгоритм является дополнением представленного ранее диспаратного алгоритма обработки изображений и имеет перспективы для развития в виде дальнейшей разработки данного алгоритма – его оптимизации, добавлении новых способов анализа изображений и обработки помех, которые могут мешать корректной работе алгоритма.

Таким образом, можно заключить, что все поставленные задачи в рамках данной работы были выполнены в полном объеме, и цель исследования была достигнута.



## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

КЗ – компьютерное зрение

ТС – транспортное средство

ЦП – центральный процессор

ГП – графический процессор

ЯП – язык программирования

ПО – программное обеспечение

СК – система координат

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Блянкинштейн И.М. Метод регистрации траектории и параметров движения автотранспортных средств / И.М.Блянкинштейн, Д.А.Швец, В.И.Грачев // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. – 2014. – №9 (92). – С. 154–159.

2. Моисеев А.В. построение смещения снимающей камеры по аэрофотоснимкам / Моисеев А.В., Швец Д.А. // VI Международная научная конференция «Региональные проблемы дистанционного зондирования земли». – 2019. – С. 123–126.

3. Lamb F. What is machine vision, and how can it help? [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.controleng.com/articles/what-is-machine-vision-and-how-can-it-help/> (Дата обращения 04.03.2021)

4. Агафонов В.Ю., Фоменкова М.А. Методы безэталонной оценки резкости и детализации изображения // Евразийский Совет Учёных. – 2017. – № 4(37). – С. 51–55.

5. Мониц Ю.И., Старовойтов В.В. Мера оценки резкости цифрового изображения // Доклады БГУИР. – 2011. – № 1 (55). – С. 80–84.

6. Кольцов П.П. Оценка размытия изображения // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35. № 1. – С. 95–102.

7. Skrede O.J. Color images, color spaces and color image processing // University of Oslo. – 2017. – С. 95.

8. Пухова Е. А., Андреев Ю. С. Коррекция Цвета Изображений Методом Приведения Гистограммы По Закону Нормального Распределения // Известия Тульского Государственного Университета. Технические Науки. – 2017. – № 6. – С. 335–347.

9. Валиева Н. Э. Обнаружение цвета в пространстве RGB с использованием иерархической структуры нейронной сети // Информационно-

компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. – 2019. – № 2 (24). – С. 74–81.

10. Жбанова В. Л. Система цветоделения с характеристиками, близкими к XYZ // Научный Вестник Новосибирского Государственного Технического Университета. – 2019. – № 1 (74). – С. 167–180.

11. Intel® Integrated Performance Primitives Developer Reference, Volume 2: Image Processing // Image Processing. – №2.

12. Mohd Ali N., Md Rashid N. K. A., Mustafah Y. M. Performance Comparison between RGB and HSV Color Segmentations for Road Signs Detection // Applied Mechanics and Materials [Электронный ресурс]. URL: /AMM.393.550 (Дата обращения: 06.06.2021).

13. Bora D. J., Gupta A. K., Khan F. A. Comparing the Performance of L\*A\*B\* and HSV // Color Spaces with Respect to Color Image Segmentation. – 2015. – № 2 (5).

14. Локтев Д.А. Определение характеристик движущихся объектов с использованием контролируемого размытия изображения // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2020. – № 2. – С. 98-116.

15. John Guild. The colorimetric properties of the spectrum // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. – 1931. – Т. A230. – С. 149-187.

16. Nakanen J. Accelerating image processing pipeline on mobile devices using GPU 2014 : Master of Science Thesis ... Master's Degree Programme in Information Technology / Jesse Nakanen, 2014. – 60 с.

17. Возрастание, убывание и экстремумы функции [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [http://www.mathprofi.ru/vozrastanie\\_ubyvanie\\_ekstremumy\\_funkcii.html](http://www.mathprofi.ru/vozrastanie_ubyvanie_ekstremumy_funkcii.html) (Дата обращения: 06.06.2021)


18. Грешилов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математические методы построения прогнозов. // М.: Радио и связь. – 1997. – 112 с.

19. Алгоритм скользящего среднего [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/134375/> (Дата обращения: 06.06.2021)
20. Виды средних величин [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://econ.wikireading.ru/31306> (Дата обращения: 06.06.2021)
21. Численные методы и компьютерное моделирование [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1953.pdf> (Дата обращения: 06.06.2021)
22. Применение метода локальной аппроксимации для прогноза экономических показателей [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://chaos.phys.msu.ru/loskutov/PDF/Los\\_Kotl\\_Zhur.pdf](https://chaos.phys.msu.ru/loskutov/PDF/Los_Kotl_Zhur.pdf) (Дата обращения: 06.06.2021)
23. Прямая в пространстве, справочник математических формул «Прикладная математика» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.pm298.ru/pryamaya2.php> (Дата обращения: 06.06.2021)
24. Декартова система координат. Основные понятия и примеры [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://function-x.ru/geometry\\_coordinates\\_cartesian.html](https://function-x.ru/geometry_coordinates_cartesian.html) (Дата обращения: 06.06.2021)
25. Тынкевич М.А. Численные методы анализа. Глава 7.6.1. Интерполяционный многочлен Лагранжа / Численные методы анализа. — Кемерово, 2002. – 23 с.
26. Luo C. [и др.]. Overview of Image Matching Based on ORB Algorithm / Journal of Physics: Conference Series. – 2019.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
институт  
Вычислительная техника  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

  
подпись О.В. Непомнящий  
инициалы, фамилия  
« О » 06 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Разработка и применение интеллектуальных алгоритмов для обработки  
цифровых изображений

Тема

09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»  
код и наименование направления

09.04.01.04 «Технология разработки программного обеспечения»  
код и наименование магистерской программы

Научный  
руководитель

ИИ, 7.06.21  
подпись, дата

доцент, канд. техн. наук  
должность, ученая степень

Д.А. Швец  
инициалы, фамилия

Выпускник

СМХ, 7.06.21  
подпись, дата

А.С. Никитина  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

ИИ, 7.06.21  
подпись, дата

доцент, канд. техн. наук  
должность, ученая степень

Д.А. Швец  
инициалы, фамилия

Красноярск 2021