МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

**«Дальневосточный федеральный университет»**

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**Кафедра прикладной математики, механики, управления и программного обеспечения**

Войцеховский Артём Викторович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ПАНОРАМНЫХ СНИМКАХ

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

по образовательной программе подготовки специалистов

по направлению 010503.65 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем»

Владивосток

2013

Оглавление

[Глоссарий 4](#_Toc358344819)

[Введение 5](#_Toc358344820)

[Глава 1 Существующие системы распознавания объектов на панорамных электронных снимках 8](#_Toc358344821)

[1.1 Методы улучшения качества снимков 8](#_Toc358344822)

[1.1.1 Изменение контраста 9](#_Toc358344823)

[1.1.2 Видоизменение гистограмм 9](#_Toc358344824)

[1.1.3 Изменение тонового распределения 10](#_Toc358344825)

[1.1.4 Удаление малых компонент 10](#_Toc358344826)

[1.1.5 Анализ пространственных частот с использованием гармонических функций 11](#_Toc358344827)

[1.2 Методы обнаружения объектов на электронном снимке 11](#_Toc358344828)

[1.1.6 Алгоритм утоньшения для нахождения скелета 11](#_Toc358344829)

[1.1.7 Алгоритм построения скелета 12](#_Toc358344830)

[1.3 Методы поиска похожих объектов 12](#_Toc358344831)

[1.1.8 Сравнение графов 13](#_Toc358344832)

[1.1.9 Сравнение контуров 13](#_Toc358344833)

[1.4 Методы определения географических координат объекта по электронному снимку 14](#_Toc358344834)

[1.1.10 Метод Винсента 14](#_Toc358344835)

[1.1.11 Метод Гельмерта 14](#_Toc358344836)

[1.5 Методы определения расстояния до объекта по электронному снимку 15](#_Toc358344837)

[1.6 Методы распознавания льда 17](#_Toc358344838)

[1.1.12 Сравнение коэффициентов подобия 17](#_Toc358344839)

[1.1.13 Видимые признаки 20](#_Toc358344840)

[1.1.14 Радиолокационные изображения 22](#_Toc358344841)

[1.7 Методы построения ортогональной проекции изображения 22](#_Toc358344842)

[1.8 Использование многопоточности в системах распознавания объектов 23](#_Toc358344843)

[1.9 Выводы из обзора 25](#_Toc358344844)

[Глава 2 Анализ и построение модели ПО и решаемых задач 27](#_Toc358344845)

[2.1 Анализ ПО и решаемых задач 27](#_Toc358344846)

[2.2 Модель предметной области 30](#_Toc358344847)

[2.2.1 Онтологические соглашения 36](#_Toc358344848)

[2.3 Постановка прикладных задач 37](#_Toc358344849)

[Глава 3 Спецификация требований и проектирование 42](#_Toc358344850)

[3.1 Требования 42](#_Toc358344851)

[3.1.1 Общие требования 42](#_Toc358344852)

[3.1.2 Пользовательские требования 42](#_Toc358344853)

[3.1.3 Функциональные требования 43](#_Toc358344854)

[3.1.4 Требования к входным данным 44](#_Toc358344855)

[3.1.5 Требования к выходным данным 44](#_Toc358344856)

[3.1.6 Требования к надёжности и мобильности системы 45](#_Toc358344857)

[3.1.7 Требования к серверу БД 45](#_Toc358344858)

[3.2 Проект 46](#_Toc358344859)

[3.2.1 АКД 46](#_Toc358344860)

[3.2.2 Диаграмма вариантов использования 49](#_Toc358344861)

[3.2.3 Диаграмма взаимодействия 51](#_Toc358344862)

[3.2.4 Диаграмма потоков данных 52](#_Toc358344863)

[3.2.5 Схема базы данных 53](#_Toc358344864)

[3.2.6 Проект данных 55](#_Toc358344865)

[Глава 4 Испытания системы «Анализ панорамных снимков» 58](#_Toc358344866)

[4.1 Описание предметной области испытаний 58](#_Toc358344867)

[4.2 Автоматизация предметной области 58](#_Toc358344868)

[4.3 Преимущества автоматизации 59](#_Toc358344869)

[Заключение 60](#_Toc358344870)

[Глава 5 Литература 62](#_Toc358344871)

# Глоссарий

**Азимут** – угол направления камеры относительно направления на север.

**Наклон** - угол относительно вертикали.

**Крен** - угол наклона относительно горизонта.

**Большая полуось эллипсоида** – большая полуось сферы, представляющей модель Земли.

**Коэффициент сжатия эллипсоида** – понятие в геодезии; один из параметров, помогающий однозначно определить форму Земного эллипсоида.

**Точка на экваторе** – точка пересечения экватора с меридианом.

# Введение

Для определение параметров движения объектов прибрежных океанографических областей особенно привлекательны оптические методы с расположением приборов, далеких от поверхности океана, потому что это смягчает некоторые трудности, связанные с не мобильностью приборов, а именно: мощные волны, обрастание биоматериалом, и износ датчика при неблагоприятных условиях. Удаленный характер технологии сбора данных даёт преимущество, позволяя проводить измерения в широком диапазоне масштабов пространства (от сантиметров до километров) и периодов времени (от секунд до лет). Логистика и стоимость сбора данных о прибрежных процессах с использованием видео датчиков, как правило, меньше, чем традиционные решения. Любое прибрежное явление, которые можно различить визуально, может быть подсчитано количественно с помощью методов обработки изображений. Концепция удаленного слежения за акваториями имеет не малую историю. Кроме того, использование видео-оборудования для измерения физических величин получило значительное распространение в области компьютерного зрения и робототехники. Специфическим требованием видеодатчиков является необходимость в наличии широкополосного канала передачи данных и надёжного хранилища информации. Еще одной проблемой этого типа датчиков является то, что точность измерения зависит от условий освещения, а в течение ночи необходимо наличие хотя бы небольшого освещения.

На данный момент поставлено несколько задач. Основная задача – отслеживать движущиеся по территории акваторий объекты – лодки и суда. Нужно автоматизировать процесс отслеживания таких объектов, анализ самих объектов, а так же сбор данных о поверхности акваторий: подсчитывать площадь, занятую льдом. В анализ объектов входит определение их размеров, скорости, направления, географических координат и расстояния до камеры. Так же система должна преобразовывать наклонные снимки, которые создаются береговыми стационарными поворотными камерами, в горизонтальные.

Уже разработаны алгоритмы по анализу изображений, а именно для выделения на них объектов. Преобразование наклонного снимка к горизонтальному является геометрической задачей по построению ортогональной проекции. Вычисление скорости в рамках данной задачи – элементарная задача физики по нахождению постоянной скорости объекта на участке его движения. Для сравнения объектов, найденных на разных снимках, есть алгоритмы, сводящие задачу к сравнению графов. Для определения географических координат ряд методов предложен ещё в 20-м веке. Для определения расстояния до объекта используется математическая модель камеры, в соответствии с которой и вычисляется требуемая информация. Методы улучшения изображений позволяют облегчить процесс и повысить вероятность обнаружения объектов. Методы обнаружения объектов на снимках позволяют выделять на снимке объекты, что непосредственно связаны с требуемой от системы задачей. Методы поиска похожих объектов позволяют находить на двух снимках одинаковые объекты. Также проанализированы методы построения математической модели камеры, которой необходимо пользоваться при вычисления интересующих параметров объектов. Методы определения географических координат позволяют установить географическое положение объектов. Рассмотрено использование многопоточности, способствующее эффективному использованию вычислительных ресурсов в современных вычислительных машинах.

Однако существующие методы для распознавания льда на фотографиях применимы только для космических снимков. Поэтому требуется разработать метод, позволяющий отличать лёд от остальных объектов на изображениях местности, полученной береговыми камерами. Нужно скомпоновать выбранные методы для решения поставленных задач.

Целью дипломной работы является поиск и разработка алгоритмов, которые должны быть заложены в программное средство, решающее поставленные задачи, а также разработка и реализация этого программного средства. Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

1. проанализировать существующие алгоритмы
2. разработать недостающие алгоритмы
3. выбрать подходящие алгоритмы для программной системы
4. составить требования и спецификации к программному средству
5. составить низкоуровневый проект программного средства
6. спроектировать базу данных для хранения снимков и проанализированных данных
7. реализовать систему и провести её тестирование
8. провести экспериментальное исследование созданного программного средства

Дипломная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, одного приложения и списка литературы из 34 источников. Во введении обосновывается актуальность темы исследования, обосновывается цель и выделяются задачи исследования. Первая глава посвящена обзору литературы на тему «Определение параметров движения объектов на панорамных снимках», вторая – анализу предметных областей «Определение параметров объектов на снимках», «построение ортогональной проекции изображений» и «детектирование льда на снимках по цвету в видимом спектре», третья - проектированию и реализации системы, проектированию БД для системы. В четвёртой главе приведены тесты системы в реальных условиях.

# Существующие системы распознавания объектов на панорамных электронных снимках

Целью представленного обзора литературы является формулировка требований к программному средству на основе тех алгоритмов, которые должны быть заложены в программное средство, решающее поставленную задачу. В обзоре рассматриваются существующие способы улучшения качества изображения для повышения эффективности его дальнейшего анализа, методы поиска льда на цифровом снимке, способы нахождения объектов снимка и их пространственных характеристик.

В данной главе рассматриваются существующие методы, которыми должна обладать система для выполнения требуемых от неё задач: выделять объекты на панорамных снимках, полученных с поворотных стационарных камер; вычислять размеры объектов, скорость, географические координаты, направление их движения, а так же выделять на снимках лёд и подсчитывать занимаемое им пространство.

## Методы улучшения качества снимков

При считывании аналоговой информации и её оцифровке всегда возникает шум из-за особенностей работы матрицы, особенностей отражающей поверхности, точечных шумов, дефектов при изготовлении объектива, избыточной яркости (блюминга) геометрической не идеальности линзы объектива, неоднородностей пзс-матрицы и эффектов дискретизации [14]. Перед анализом изображений целесообразно применять к ним преобразования, которые устраняли бы его, а также изменяли изображение так, чтобы анализирующие алгоритмы могли предоставить наиболее точные результаты работы.

Возможны следующие способы улучшения качества цифровой фотографии:

* Изменение контраста
* Видоизменение гистограмм
* Изменение тонового распределения
* Удаление малых компонент
* Анализ пространственных частот с использованием гармонических функций

### Изменение контраста

Процедура улучшения изображений сводится к выполнению комплекса операций с целью либо улучшения визуального восприятия изображения, либо преобразования его в форму, более удобную для визуального или машинного анализа [7; 8].

Слабый контраст — наиболее распространенный дефект фотографических и телевизионных изображений, обусловленный ограниченностью диапазона воспроизводимых яркостей, нередко сочетающейся с нелинейностью характеристики передачи уровней.

Во многих случаях контраст можно повысить, изменяя яркость каждого элемента изображения.

### Видоизменение гистограмм

Гистограмма распределения яркостей типичного изображения естественного происхождения, подвергнутого линейному квантованию, обычно имеет ярко выраженный перекос в сторону малых уровней; яркость большинства элементов изображения ниже средней [9]. На темных участках подобных изображений детали часто оказываются неразличимыми. Одним из методов улучшения таких изображений является видоизменение гистограммы. Этот метод предусматривает преобразование яркостей исходного изображения, с тем чтобы гистограмма распределения яркостей обработанного изображения приняла желаемую форму. Эндрюс, Холл и другие исследователи получили ряд улучшенных изображений путем выравнивания гистограмм распределения, т. е. в каждом случае они добивались равномерности распределения яркости обработанного изображения [10]. Фрей исследовал метод видоизменения гистограмм, который обеспечивал экспоненциальную или гиперболическую форму распределения яркостей улучшенного изображения [11]. Кетчам улучшил этот метод, применив «локальные», подсчитанные по части изображения, гистограммы [12].

### Изменение тонового распределения

Улучшение изображений выполняется путем изменения значений интенсивности (полутоновых уровней) пикселов [9]. В большинстве программных пакетов для обработки изображений предусмотрено несколько команд для изменения вида изображения посредством преобразования значений пикселов с использованием некоторой функции, задающей способ замены входных значений интенсивности на новые выходные значения. Данный метод легко расширить таким образом, чтобы пользователь мог указать несколько различных областей изображения и применить к каждой из них различные функции преобразования — функции тонового распределения. Преобразование значений интенсивности часто называется растяжением (stretching), так как такая операция часто применяется для расширения динамического диапазона значений интенсивности слишком темных изображений на весь доступный диапазон уровней интенсивности.

### Удаление малых компонент

Существуют способы выделения связных компонент на бинарном изображении и большого количества признаков, которые можно вычислять по множеству пикселов, составляющих одну связную компоненту [9]. Описание, сформированное для изображения, может содержать множество компонент, каждая из которых представляет область, выделенную на фоне изображения, и множество признаков, вычисленных для каждой компоненты. С учетом вычисленных признаков алгоритм может удалить из этого описания любую компоненту. Например, могут быть удалены компоненты, содержащие небольшое количество пикселов, или очень тонкие компоненты. Подобная обработка приводит к удалению ряда шумовых областей вблизи границы объекта.

### Анализ пространственных частот с использованием гармонических функций

Теория рядов Фурье в математическом анализе показывает, как большинство действительных поверхностей и функций можно представить с помощью базиса гармонических функций [9]. Энергия, соответствующая базисным векторам, интерпретируется в терминах структуры представляемой поверхности (функции). Этот подход может применяться для обработки всего изображения или его отдельных фрагментов. Он заключается в использовании базиса Фурье для последующей фильтрации изображения или для принятия решений относительно изображения на основе распределения энергии между различными базисными векторами.

Например, для удаления высокочастотного шума можно устранить из изображения все компоненты, соответствующие высокочастотным гармоническим колебаниям.

## Методы обнаружения объектов на электронном снимке

При фотографировании на снимках образуются шумы из-за особенностей работы матрицы, отражающей поверхности; также добавляются точечные шумы.

Для улучшения алгоритма выделения предлагается учитывать не только размеры объекта, но и его форму, а именно, строить скелет объекта и анализировать полученный граф [15].

Рассмотрены следующие методы:

* Алгоритм утоньшения для нахождения скелета
* Алгоритм построения скелета

### Алгоритм утоньшения для нахождения скелета

Алгоритм основан на применении к изображению восьми масок, полученных из двух (см. табл.) путем поворота каждой на 90, 180 и 270 градусов [15]. Каждая маска отвечает за удаление горизонтальных, вертикальных и диагональных линий, наклоненных под углом 45 градусов.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 | 0 | 0 |  | 2 | 0 | 0 |
| 2 | 1 | 2 |  | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |  | 2 | 1 | 2 |

1. Маски утоньшения

Алгоритм заключается в следующем. Каждый пиксель изображения и его ближайшие соседи подвергаются тесту на соответствие наложенной маски. Маска накладывается таким образом, что текущий пиксель становится в ее середину, а ближайшие соседи покрываются остальной частью маски. Если сам пиксель и его соседи удовлетворяют условию, что под ячейкой маски с номером 0 находится фон объекта, а под ячейками с номером 1 – сам объект, то пиксель, лежащий под центральной ячейкой маски, удаляется на изображении.

### Алгоритм построения скелета

Для анализа скелета объекта необходимо представить его в виде взвешенного графа [15]. Для дальнейшего анализа скелета необязательно иметь всю ветвистую структуру. Достаточно выделить самый длинный путь в скелете и связанные с ним относительно большие дуги (пути) в графе. Применительно к летательным объектам в таком случае будут выделены фюзеляж самолета и оба его крыла. По соотношению весов самого длинного пути и связанных с ним дуг можно отсеивать мешающие распознаванию объекты (деревья, мелкие водоемы и др.).

## Методы поиска похожих объектов

Рассмотрены следующие методы:

* Сравнение графов
* Сравнение контуров

### Сравнение графов

После достаточного упрощения скелетов сравниваются полученные и эталонные графы [16]. Полное соответствие графов совершенно необязательно, так что, если веса дуг или их отношения мало отличаются, графы считаются похожими. Для решения задачи можно применить метод сравнения иерархий графов. Для этого вершины одного графа упорядочиваются относительно какой-нибудь конечной вершины, а для другого графа подбирается подобная комбинация вершин и дуг. Упорядочение вершин визуально можно представить как подвешивание дерева за одну из конечных вершин. Если находится подобная комбинация вершин и дуг, полученный и эталонный объекты схожи по своей структуре.

### Сравнение контуров

Сравнение контуров — распространённая задача, возникающая, например, при решении проблемы поиска заданного объекта на изображении (template matching) [17].

Самый простой вариант сравнения пары контуров — это рассчитать их моменты.

**Момент** — это суммарная характеристика контура, рассчитанная интегрированием (суммированием) всех пикселей контура.

Однако моменты имеют существенные недостатки:

— они не позволяют сравнить контуры одинаковой формы, но разных размеров, поэтому их, сначала нужно нормализовать (операция эквализации контуров (приведение к единой длине) — позволяет добиться инвариантности к масштабу).

— зависят от системы координат, а значит не позволят определить повёрнутую фигуру.

Поэтому, лучше использовать нормализованные инвариантные моменты.

– вычисление центральных моментов (central moments)

– вычисление нормализованных центральных моментов (normalized central moments)

Для поставленной задачи данный метод не пригоден из-за возможного резкого изменения контура объекта на соседнем снимке в результате того, что он может слишком сильно развернуться относительно своего предыдущего положения.

## Методы определения географических координат объекта по электронному снимку

Рассмотрены следующие методы:

* метод Винсента
* метод Гельмерта

### Метод Винсента

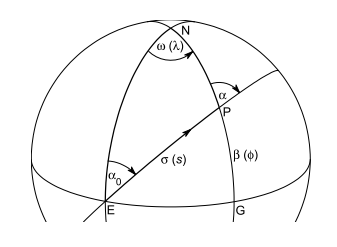
Рекомендуемые прямые и обратные решения были разработаны на основе обратной формулы Рейнсфорда [18;19]. Прямое решение было получено от обратного, выполняемого в обратном порядке, используя подход Раппа [20].

По известной точке , заданному азимуту и дистанции s прямой метод Винсента находит координаты конечной точки (.

### Метод Гельмерта

Применяется адаптированный метод Гельмерта (1880) [21]. Работа выходит за рамки метода Винсента из-за увеличенной точности, чтобы соответствовать стандартной точности большинства компьютеров. Это относительно простая задача сохранения достаточного количества членов ряда разложения, и она может быть достигнута при небольших вычислительных затратах.

Геодезические задачи наиболее легко решаются с помощью вспомогательной сферы, которая позволяет сделать точное соответствие между геодезическим и большим кругом на сфере. На сфере, широта фи заменяется уменьшенной широтой бета, а азимут альфа сохраняется.



1. Сфера

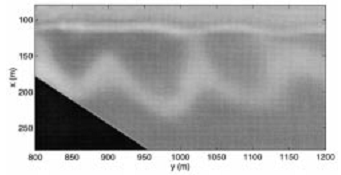
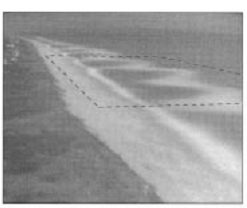
Из рисунка 2 очевидно, что уравнение Клеро, – правило синуса, применённое к сторонам NE и NP треугольника NEP и их противолежащим углам. Третья сторона, сферическая длина дуги σ, и ее противоположный угол, сферическая долгота ω, связаны с эквивалентными величинами на эллипсоиде: расстояние х и долгота λ, в силу уравнение Рапп.

## Методы определения расстояния до объекта по электронному снимку

Используется текущая математическая модель камеры с некоторыми известными мировыми координатами [22].

Практические ограничения на мировые координаты при использовании цифровых изображений возможно, не очевидны, но, во многих случаях, практически реализуемы. Один из способов состоит в том, чтобы представить образы в виде системы, в которой одна пространственная переменная **может быть задана непосредственно**, таким образом, добавляя третье уравнение к уравнению (3) и получая уникальное решение для преобразования изображения.

Например, можно зафиксировать z, как среднюю высоту над уровнем моря, полученную с помощью приборов на месте установки камеры наблюдения. Учитывая текущую высоту, можно вычислить высоту пикселей на изображении по их интенсивности. Для камер, ориентируемых вдоль берега, ошибка горизонтального расположения привносит погрешность в определение масштаба. Однако, относительная ошибка интервала (различие между спроектированными взвешенными шкалами расстояний) почти нечувствительна к ошибке оценки высоты и обычно меньше пиксела. Пример определения морфологических шкал расстояний от прямых прибрежных изображений показан на Рис. 8. Нормализованная экспозиция изображений показала отличные результаты для исследований морфологических изменений, дающих логически простое представление об изменениях огромных областей местности.



a b

1. Преобразование фотографии прибрежной зоны

Другая альтернатива определения мировых координат, используя снимки от одной камеры, состоит в том, чтобы ограничить множество мировых координат с помощью определённой поверхности. Пример этого метода, связанный с определением неизвестных мировых координат, заключается в отслеживании природных дрифтеров (например, устройства защиты от мин для военных) в зоне, вдающейся в береговую линию. Этот случай схож с морфологическими методами измерений, за исключением того, что пространственное измерение не должно ограничиваться вертикальной или горизонтальной плоскостью (или границами вообще). Вместо этого координаты местности, соответствующие измеряемым положениям пикселей, выводятся путём математического определения координат поверхности земли. Координаты изображения, определённые вручную, соответствующие положению дрифтера, были преобразованы в мировые координаты с помощью коэффициентов калибровки камеры.

## Методы распознавания льда

### Сравнение коэффициентов подобия

Изобретение относится к области гидрологии и связано с определением толщины ледяного покрова замерзающих акваторий по данным дистанционных средств измерений, устанавливаемых на метеорологических искусственных спутниках Земли [44]. Способ заключается в том, что по приведенным математическим формулам вычисляется априорно множество эталонов нелинейных коэффициентов подобия между рельефом истинной толщины льда и рельефом температурного поля ледяного покрова. Затем коэффициенты подобия определяются по данным анализируемого ИК изображения, где выбираются тестовые участки, температура поверхности которых соответствует участкам воды при температуре замерзания и участкам «толстого» (толщина >120 см) заснеженного льда. При одинаковых гидрометеорологических условиях из множества эталонных значений для данных на время приема изображения выбираются коэффициенты подобия, равные рассчитанным, и определяются температурные интервалы, соответствующие выбранным дискретным интервалам толщины льда.

Среди используемых дистанционных технических средств и способов определения возрастных градаций ледяного покрова можно отметить следующие:

1. Средства наблюдения в видимом диапазоне электромагнитного спектра частот (с длинами волн 380-760 нм). В этом диапазоне контраст наблюдаемых объектов определяется значениями их альбедо и положением солнца. По спутниковым снимкам среднего разрешения возможно определение указанных выше возрастных градаций льда в светлое время суток при отсутствии облачности, если размеры однородных участков ледяного покрова значительно превосходят размеры элементарных площадок изображения. При этом точность определения возрастных градаций льда во многом зависит от субъективной оценки получаемых изображений экспертом-дешифровщиком.

2. Средства наблюдения в СВЧ-диапазоне частот (активные и пассивные), регистрирующие радиотепловое излучение ледяного покрова в диапазоне длин волн 1 мм - 40 см, позволяют идентифицировать однолетние тонкие, средние, толстые льды и многолетние льды. Однако такие возможности имеются только в том случае, если однородные участки ледяного покрова больше локальной разрешающей способности радиометров. Между тем, спутниковые СВЧ-радиометры имеют разрешение на местности порядка 10-80 км.

3. Средства радиолокационного зондирования (РЛС БО) измеряют энергию отраженного радиолокационного сигнала, определяемую отражательной способностью объектов или эффективной площадью рассеяния (ЭПР). Применительно к локации ледяного покрова ЭПР зависит от комплексной диэлектрической проницаемости льда, рельефа его поверхности и ее влажности, а также от параметров аппаратуры наблюдения - длины волны и поляризации излучаемого и принимаемого сигнала. Практика использования спутниковых РЛС БО свидетельствует, что по радиолокационным снимкам, получаемым на длинах волн 0,8-5,0 см, возможно определение возрастных градаций в основном трех типов льдов: молодых, однолетних и старых.

4. Средства инфракрасного зондирования в тепловом канале измеряют собственное тепловое излучение ледяного покрова в максимуме этого излучения при естественных для земных покровов значениях температуры воздуха. Собственное тепловое излучение льда определяется его радиационной температурой, очень близкой к фактической поверхностной температуре. Поскольку ледяной покров акваторий является промежуточным слоем между водой при температуре замерзания и атмосферой, то по разности температуры поверхностей можно рассчитать толщину льда. Это подтверждается классическими теоретическими законами. Оптимальным диапазоном измеряемой толщины льда является интервал от пленки до 60÷100 см (по данным различных авторов), т.е. молодые, тонкие и средние однолетние льды. Однако физико-математическая интерпретация изображений ИСЗ в этом диапазоне с целью определения толщины ледяного покрова акваторий встречается с большими трудностями. Проблема связана с многочисленными (от 8 до 10), обычно неизвестными, физическими характеристиками льда и окружающих условий, существенно влияющими на конечный результат. Поэтому вычисления становятся очень трудоемкими и экономически неоправданными. Решение подобных многофакторных задач считается оптимальным при определении безразмерных параметров, позволяющих существенно сократить количество необходимых измеряемых параметров.

5. Наиболее близким к предлагаемому является способ определения толщины ледяного покрова по данным теплового канала ПК радиометра AVHRR (ИСЗ-NOAA) при общем распределении льда толщиной до 80 см. Авторами на базе физической модели разработан алгоритм пропорциональности радиационной температуры тонких мало заснеженных морских льдов их толщине. Измеренная с ИСЗ радиационная температура поверхности ледяного покрова T s пересчитывается в данные о толщине льда h i с использованием эмпирических зависимостей Т s=F(hi). При этом должны учитываться такие гидрометеорологические элементы, как пропускание атмосферы, температура приземного воздуха, эффективное излучение ледяного покрова, наличие и глубина снежного покрова, теплопроводности снега и льда, скорость ветра. Проверка алгоритма для тонких льдов осуществлялась путем сравнения результатов интерпретации тепловых изображений морского ледяного покрова, полученных с ИСЗ в условиях безоблачного неба, с данными гидролокатора (Upward Looking Sonar) в различные районах Арктики и подтвердила его надежность. Одним из практических применений данного алгоритма являлось его использование при валидации результатов интерпретации толщины тонких льдов, получаемых по данным RADARSAT, с данными AVHRR. Эти исследования выполнялись группой авторов из Научного Полярного Центра Лаборатории прикладной физики Вашингтонского университета и Лаборатории реактивного движения (report: R.W.Lindsay, Y.Yu, H.L.Stern, D.A.Rothrock, R.Kwok, 2000. RADARSAT Geophysical Processor System Products: Evaluation and Validation. January 31, 2000, p.13). К недостаткам указанного способа следует отнести прямое решение поставленной задачи, требующее измерения многих гидрометеорологических элементов, что сопряжено с большими техническими трудностями и увеличением суммарной ошибки измерений.

### Видимые признаки

В результате последовательного анализа снимков за какой- то интервал времени можно изучать динамику ледяного покрова, т.е. смещение кромок и границ льда, дрейф отдельных гигантских и обширных ледяных полей, образование каналов и т. д [45].

Основными признаками интерпретации льда на снимке является тон (воспринимаемая глазом яркость) и структура (рисунок) изображения. По яркости изображения можно установить положение кромок льда и границы различной сплоченности льда, наличие заприпайных и прибрежных полыней, больших каналов и разводий во льду, так как отражательная способность различных форм льда и его образований неодинакова, и на телевизионных снимках со спутника они имеют различную яркость изображения.

Опыт работы с телевизионными снимками показал, что наиболее яркий тон на снимке будет иметь неподвижный лед (припай), малоподвижные сплоченные 10-балльные белые и сильно заснеженные серо-белые льды (рис. 59в). Менее яркий тон изображения за счет пространства открытой воды имеют разреженные белые, серо-белые и серые дрейфующие льды различных форм. Вследствие этого уменьшается яркость изображения на снимке, она по мере разрежения льда становится менее интенсивной, а тон изменяется от белого до темно- серого. Темный, почти черный тон имеет открытая вода и молодой лед начальных видов (сало, шуга, снежура, рис. 59ж).

Темно-серый тон на снимке имеют дрейфующие 1—3-балльные льды (рис. 59г), серую окраску — 4—6-балльные (рис. 59г) и светло-серый тон — 7—9-балльные дрейфующие льды (рис. 59 г, д).

Трещины, разводья, каналы во льду небольших размеров на снимках не видны, но они придают белесый оттенок неподвижному или сплоченному малоподвижному льду. Яркость снимка зависит также от сезона года. В зимний период отражательная способность льда более высокая, чем в весенне-летний период, когда лед начинает таять, темнеть, покрываться водой (рис. 59 з). В этом случае интерпретацию надо производить очень осторожно, так как темные пятна на снимке можно принять за открытую воду, хотя на самом деле это вода на льду.

При работе со снимками большие трудности при опознавании вызывает образовавшаяся под действием ветра у подветренного берега полынья, которая свободна ото льда или покрыта вновь образовавшимся льдом, с низкой отражательной способностью. В этом случае на снимке, если суша покрыта снегом, будет видна темная полоса. Если снега на суше нет, то эта темная полоса сольется с изображением материка. В данном случае для установления наличия полыньи могут оказать помощь географические ориентиры и точная привязка снимка; для определения изображения на снимке (открытая вода или вновь образовавшийся лед) необходимо просмотреть за несколько последних дней приземные карты погоды и установить, какая в это время наблюдалась температура воздуха и какое направление ветра преобладало. Если на протяжении несколь- ких дней температура воздуха была низкой, то наиболее вероятно, что полынья была покрыта молодым льдом, если же она оказалась высокой и направление ветра было преимущественно с берега, то скорее всего полынья свободна ото льда.

Белый тон фотоизображения льда является основным дешифровочным признаком наледей [32]. Кроме прямых признаков (тона, структуры и формы) при распознавании наледей подземных вод учитывается ряд косвенных признаков дешифрирования: географическое положение бассейна, высотный пояс, приуроченность к определенным формам рельефа и линиям тектонических нарушений, геологическое строение территории и др. Распознавание наледных тел и наледных полян вполне' возможно на черно-белых снимках, полученных в видимом диапазоне спектра. Но наибольшей гляциологической информацией обладают снимки в ближней инфракрасной зоне. Они обеспечивают более высокий контраст фотоизображения открытого льда и окружающего ландшафта независимо от их физиономичных черт. Для организации такого мониторинга успешно используются данные, получаемые с метеорологических спутников.

### Радиолокационные изображения

В последние годы разнообразные наблюдения за поверхностью Земли могут осуществляться улучшенными технологиями дистанционного зондирования [46]. Целью этой работы является распознавание ледохода, используя радиолокационные (SAR) изображения. Распознавание дрейфующего льда осуществляется с использованием нейронных сетей. Используемые нейронные сети включают: нейронные сети, обученные с помощью метода Обратного распространения ошибки и самоорганизующейся карты. Данные для обучения особенностей изображения получены из радиолокационных изображений. Используются два метода извлечения признаков: преобразование Фурье и автокорреляционная функция высокого порядка. Также, SAR изображение содержат искусственные цвета. Из этого изображения извлекаются признаки, которые распознаются нейронными сетями.

## Методы построения ортогональной проекции изображения

Фотограмметрические задачи наиболее просто решаются по горизонтальным снимкам [33, с. 67]. Получить такой снимок при нынешнем состоянии средств аэрофотосъемки невозможно, да в этом нет и необходимости, поскольку при известных угловых элементах внешнего ориентирования измеренные на наклонном снимке координаты можно перевычислить на строго горизонтальный снимок. Этот процесс в фотограмметрии называется трансформированием координат.

Пусть из точки S получены горизонтальный Р° и наклонный Р снимки с изображениями m и m° точки местности М. Эти снимки пересекаются по линии неискаженных масштабов, и их фокусные расстояния одинаковы (So = So° = f). Точка m° горизонтального снимка имеет координаты х°, у°, а точка m наклонного снимка - координаты х и у.

M

m0

f

f

O0

P0

P

n

с

m

O

1. Схема зависимости координат точек наклонного и горизонтального снимков

Рассматривая горизонтальный снимок Р° вместе с расположенными на нем точками как плоскую местность и полагая отметки ZM всех точек одинаковыми и равными нулю, а XS = YS = 0, ХM = YM = x0 и ZS= f, становится возможным установить связь между координатами соответственных точек плоскостей Р и Р°.

Это позволяет преобразовать координаты точек наклонного снимка к горизонтальному случаю съемки при любых значениях угловых элементов внешнего ориентирования снимка.

## Использование многопоточности в системах распознавания объектов

Многочисленные исследования показывают, что применение многопоточности при реализации алгоритмов в области компьютерного зрения может значительно увеличить быстродействие программного средства [26; 27].

В связи с тем, что решения в прикладных областях, подобных приведенным в списке, сводятся к ряду известных задач дискретной математики, большой практический интерес представляют параллельные алгоритмы их решения.

Алгоритмы, позволяющие выполнять параллельное суммирование с помощью многопроцессорных систем с общей памятью, могут выполняться с помощью каскадной схемы суммирования, модифицированной каскадной схемы [29].

В названном первоисточнике [29] приводится также схема вычисления всех частных сумм.

S

+

+

+

a3

a4

a2

a1

1. Каскадная схема

Каскадная схема суммирования имеет вид бинарного дерева, в листьях которого записаны члены ряда, а во всех остальных узлах – операции сложения.

Для правильного построения многопоточных систем задачи, которые решают эти системы, принято разделять на следующие классы:

* Комбинаторные задачи
* Задачи линейной алгебры
* Вычисления в узлах сеток и решеток. Краевые задачи

Среди задач комбинаторики можно обратить внимание, в первую очередь, на параллельные методы сортировки и поиска данных [26].

Суть многих параллельных алгоритмов сортировки состоит в том, что упорядочиваемые данные разбиваются на какие-либо части в зависимости от метода, каждая из которых сортируется по отдельности разными процессорами [30]. Затем упорядоченные части объединяются некоторым образом, опять же в зависимости от метода. Эти два этапа могут повторяться необходимое число раз.

Типичным представителем задач, относящихся к линейной алгебре, является умножение матрицы на матрицу [31].

Методы решения этой задачи зависят от выбранной топологии вычислительной сети и от способа распределения матриц A, B, C по процессорам. Если сеть содержит p процессоров, то каждую из трех матриц можно распределить между ними одним из 4-х способов: на p горизонтальных полос, на p вертикальных полос, на сетку размера p на p, совсем не разбивать на части. Тогда, в зависимости от способов распределения матриц, получается 4^3 = 64 варианта решения задачи.

Задачи, связанные с вычислениями в узлах сеток и решеток, решение краевых задач относятся к числу задач, для которых технология параллельного программирования также хорошо разработана [29].

Для иллюстрации рассмотрим численное решение двумерной краевой задачи для уравнения теплопроводности методом простой итерации с использованием явного итерационного алгоритма. Перед началом вычислений задаются граничные условия (значения на границе плоской области – прямоугольной сетки) и начальные значения во внутренних точках в начальный момент времени.

На каждом этапе вычислений определяются приращения значений функции во внутренних точках сетки в предположении, что новые значения функций равны одной четверти от суммы значений в 4-х соседних точках.

## Выводы из обзора

На основании анализа литературы сформулируем следующие основные требования к будущему программному средству:

1. Система должна применять алгоритмы обработки изображений для улучшения их качества (п. 2.1. – 2.5.).
2. Система должна находить объекты на соседних снимках с помощью алгоритмов сравнения скелетов объектов (п. 3.1. – 3.2., 4.1 – 4.2.).
3. Система должна определять gps-координаты каждого объекта на снимке (п. 5.1. – 5.2.).
4. Система должна определять расстояние до каждого объекта на снимке с помощью используемой математической модели камеры с учётом известной высоты камеры над уровнем моря и её оптических характеристик (эффективное фокусное расстояние, угол наклона к горизонту) (п. 6.).
5. Система должна определять, является ли объект льдом (п. 7.).
6. Система должна с помощью этого определять процент занятости льдом участка местности на снимке (см. требование 5).
7. Система должна строить горизонтальную проекцию каждого полученного снимка (п. 8.).
8. Система должна быть многопоточной: выполнять алгоритмы улучшения качества изображений и сравнения объектов с помощью параллельных потоков (п. 9.1. – 9.3.).

# Анализ и построение модели ПО и решаемых задач

## Анализ ПО и решаемых задач

Имеется стационарная поворотная камера. Для неё известны оптические и пространственные характеристики.

По группе последовательных снимков водной местности требуется найти на них объекты и определить их параметры: скорость, траектория (в gps-координатах), размеры объекта. Определить число объектов, которые удалось проанализировать.

Для каждого снимка требуется построить его ортогональную проекцию.

Также для каждого снимка требуется вычислить площадь, занимаемую на нём льдом.

Решаемые задачи:

1. Автоматизировать анализ снимков и расчёты полученных характеристик объектов.
2. В случае ошибок выводить информативные сообщения об ошибках.
3. Программа должна строить ортогональную проекцию выбранного изображения.
4. Для каждого снимка требуется определить занимаемую льдом площадь для выбранного изображения.

Выделенные объекты и их свойства:

* камера
  + оптические характеристики
    - эффективное фокусное расстояние (м) (0, ∞)
    - горизонтальный угол обзора (градус) (0, 180)
    - вертикальный угол обзора (градус) (0, 180)
  + пространственные характеристики
    - высота над уровнем моря (м) [0, ∞)
    - gps-координаты
      * широта (градус) [-90; 90]
      * долгота (градус) [0; 180]
* снимок
  + пиксельные размеры
    - ширина (пиксель) [352, 10320]
    - высота (пиксель) [288, 8956]
  + время создания
    - год [2000, 3000]
    - месяц [1, 12]
    - день [1, 31]
    - час [0, 23]
    - минута [0, 59]
    - секунда [0, 59]
  + наклон (градус) [0, 180]
  + азимут (градус) [0, 359]
  + крен (градус) [-180, 180]
  + объект снимка (идентификаторы) [0, ∞)
  + содержание льда (м2) [0, ∞)
  + ортогональная проекция (изображение)
  + направляющие косинусы mij, i, j = 1..3 (-∞, ∞)
  + коэффициенты прямого линейного преобразования L, Lij, i, j = 1..12 (-∞, ∞)
* объект на снимке
  + размеры
    - длина (м) [0, ∞)
    - высота (м) [0, ∞)
    - ширина (м) [0, ∞)
  + расстояние до камеры (м) (0, ∞)
  + расстояние до об ъекта по горизонтали (м) (0, ∞)
  + расстояние до объекта по длине (м) (0, ∞)
  + gps-координаты – последовательность
    - gps-координаты на снимке
      * + широта (градус) [-90; 90]
        + долгота (градус) [0; 180]
  + скорость на снимке (м/с) (0, ∞)
  + траектория () последовательность координат на снимке
  + пиксельные координаты – последовательность
    - пиксель
      * x-координата
      * y-координата
* модель Земли
  + большая полуось эллипсоида a = 6 378 136 (м) [34]
  + коэффициент сжатия эллипсоида f = 1/298,257 84
  + третий коэффициент сжатия (0, ∞) n
  + первый эксцентриситет (0, ∞) e
  + второй эксцентриситет (0, ∞) e`
  + точка на экваторе
    - азимут точки на экваторе с направлением на начальную точку α0
    - сферическая длина дуги от точки на экваторе до начальной точки σ1
    - расстояние от точки на экваторе до начальной точки s1
    - расстояние от точки на экваторе до конечной точки s2
    - сферическая длина дуги от точки на экваторе до конечной точки σ2
  + начальная точка
    - азимут начальной точки по направлению вдоль параллели [-90; 90] α 1
    - широта начальной точки [-90; 90] φ1
    - сферическая широта начальной точки β1
    - сферическая долгота начальной точки ω1
    - долгота начальной точки λ1
  + конечная точка
    - азимут конечной точки по направлению вдоль параллели α2
    - сферическая широта конечной точки β2
    - широта конечной точки φ2
    - долгота конечной точки λ2
    - сферическая долгота конечной точки ω2
  + параметр растяжения k
    - параметр растяжения ε
  + коэффициенты преобразования Лагранжа C`11… C`16
  + коэффициент A1
  + коэффициент τ

**Входные данные**: Группа последовательных снимков, оптические и пространственные характеристики камеры.

**Выходные данные**: Скорость, ускорение, траектория, размер объекта|

сообщение о невозможности анализа (несоответствие снимков друг другу).

## Модель предметной области

**сорт** объекты: {}N каждый объект имеет уникальный идентификатор

**сорт** снимки: {}N каждый снимок имеет уникальный идентификатор

**сорт** ортогональное изображение: {}N каждое ортогональное изображение имеет уникальный идентификатор

**сорт** камера: {}N

**сорт** большая полуось эллипсоида: R[0, ∞)

**сорт** коэффициент сжатия эллипсоида: R[0, ∞)

длина ≡ R (0, ∞)

ширина ≡ R (0, ∞)

высота ≡ R (0, ∞)

размеры ≡ (х длина, ширина, высота)

**сорт** размеры объекта: объекты -> размеры

**сорт** последовательность скоростей объекта: объекты -> seq R[0, ∞)

координата ≡ (х I[0, 10320], I[0, 8956])

**сорт** координаты объекта на снимке: объекты -> seq координата

**сорт** траектория: объекты -> seq координаты объекта на снимке

gps-координаты ≡ (х широта –> R[0,180], долгота –> R[0,180], высота –> R[0, ∞))

**сорт** gps-координаты объекта: объекты -> seq gps-координаты объекта на снимке

цифровая ширина ≡ I[352, 10320]

цифровая высота ≡ I[288, 8956]

размеры снимка ≡ (× цифровая ширина, цифровая высота)

**сорт** пиксельные размеры: снимки -> размеры снимка

год ≡ I[2000, 3000]

месяц ≡ I[1, 12]

день ≡ I[1, 31]

час ≡ I[0, 23]

минута ≡ I[0, 59]

секунда ≡ I[0, 59]

время ≡ (х год, месяц, день, час, минута, секунда)

**сорт** время получения снимка: снимки -> время

**сорт** камера снимка: снимки -> камера

**сорт** объект снимка: снимки -> {} объекты

**сорт** число объектов снимка: снимки -> I [0, 255]

**сорт** азимут: снимки -> угол к направлению на север

**сорт** угол наклона к горизонту: снимки –> угол

**сорт** содержание льда: снимки -> I[0, ∞)

**сорт**

**сорт**

**сорт**

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** : снимки -> R(-∞, ∞)

**сорт** модель Земли: {}N

**сорт** большая полуось эллипсоида: модель Земли -> I[6 300 000, 6 400 000]

**сорт** коэффициент сжатия эллипсоида: модель Земли -> R(0, 1)

**сорт** расстояние от начальной точки до конечной: модель Земли -> I(0, ∞)

**сорт** третий коэффициент сжатия: (model –> модель Земли, n –> коэффициент сжатия эллипсоида (model)) –> R(0, ∞)

**сорт** первый эксцентриситет: (model –> модель Земли, f –> коэффициент сжатия эллипсоида (model)) –> R(0, ∞)

**сорт** второй эксцентриситет: (model –> модель Земли, f –> коэффициент сжатия эллипсоида (model), e –> первый эксцентриситет (model, f))-> R(0, ∞)

**сорт** точка на экваторе: модель Земли -> {}N

**сорт** азимут точки на экваторе с направлением на начальную точку: (model –> модель Земли, E –> точка на экваторе (model), A –> начальная точка (model), α1 –> азимут начальной точки по направлению вдоль параллели (A)) -> R[-90; 90]

**сорт** сферическая длина дуги от точки на экваторе до начальной точки: (model –> модель Земли, E –> точка на экваторе (model), A –> начальная точка (model), α1 –> азимут начальной точки по направлению вдоль параллели (A), азимут точки на экваторе с направлением на начальную точку (model, E, A, α1), φ1 –> широта начальной точки (A), сферическая широта начальной точки (model, A, φ1)) –> R[0; 360]

**сорт** расстояние от точки на экваторе до начальной точки: (model –> модель Земли, E –> точка на экваторе (model), A –> начальная точка (model), α1 –> азимут начальной точки по направлению вдоль параллели (A), азимут точки на экваторе с направлением на начальную точку (model, E, A, α1), φ1 –> широта начальной точки (A), коэффициент сжатия эллипсоида (model), сферическая широта начальной точки (model, A, φ1, f)) -> I(0; ∞)

**сорт** расстояние от точки на экваторе до конечной точки: (модель, точка на экваторе, ) -> I(0; ∞)

**сорт** сферическая длина дуги от точки на экваторе до конечной точки: точка на экваторе -> R[0; 360]

**сорт** начальная точка: модель Земли -> {}N

**сорт** широта начальной точки: начальная точка –> R[-90; 90]

**сорт** азимут начальной точки по направлению вдоль параллели: начальная точка -> R[-90; 90]

**сорт** сферическая широта начальной точки: (model –> модель Земли, A –> начальная точка (model), φ1 –> широта начальной точки (A), f -> коэффициент сжатия эллипсоида (model)) -> R[0; 360]

**сорт** сферическая долгота начальной точки: (модель Земли, начальная точка, сферическая длина дуги от точки на экваторе до начальной точки, азимут точки на экваторе с направлением на начальную точку) -> R[0; 360]

**сорт** долгота начальной точки: (модель Земли, начальная точка) –> R[0; 180]

**сорт** конечная точка: модель Земли -> {}N

**сорт** азимут конечной точки по направлению вдоль параллели: (модель Земли, конечная точка, азимут точки на экваторе с направлением на начальную точку, сферическая длина дуги от точки на экваторе до конечной точки) –> R[-90; 90]

(model: модель Земли) (E: точка на экваторе) (B: конечная точка) (A: начальная точка) (A: начальная точка) (α1: азимут начальной точки по направлению вдоль параллели ) (α0: азимут точки на экваторе с направлением на начальную точку) (σ2: сферическая длина дуги от точки на экваторе до конечной точки) (α2: азимут конечной точки по направлению вдоль параллели (model, B, α0, σ2)) => (E = точка на экваторе (model)) & (B = конечная точка (model)) & (A = начальная точка(model)) & (α1 = азимут начальной точки по направлению вдоль параллели (A)) (α0 = азимут точки на экваторе с направлением на начальную точку (model, E, A, α1))

**сорт** сферическая широта конечной точки: конечная точка -> R[0; 360]

**сорт** широта конечной точки: конечная точка -> R[-90; 90]

**сорт** долгота конечной точки: конечная точка -> R[0; 180]

**сорт** сферическая долгота конечной точки: конечная точка -> R[0; 360]

**сорт** параметр растяжения k: (model -> модель Земли, A –> начальная точка (model) e –> второй эксцентриситет (model), az –­> азимут точки на экваторе с направлением на начальную точку(model, A)) -> R(0; ∞)

**сорт** параметр растяжения ε: параметр растяжения k -> R(0; ∞)

**сорт** коэффициенты преобразования Лагранжа: модель Земли -> {} R[0; 360]

**сорт** коэффициент A1: модель Земли -> R[0; 360]

**сорт** коэффициент τ: модель Земли -> R[0; 360]

**сорт** координата объекта на снимке: (img -> снимки, obj -> объект снимка (img)) -> координата

**сорт** gps-координаты объекта на снимке: (model -> модель Земли, img -> снимки, obj -> объект снимка (img)) -> gps-координаты

**сорт** расстояние до камеры: (img -> снимки, obj -> объект снимка (img)) -> R[0, ∞)

**сорт** расстояние до объекта по горизонтали: (img -> снимки, obj -> объект снимка (img)) -> R [0, ∞)

**сорт** расстояние до объекта по длине: (img -> снимки, obj -> объект снимка (img)) -> R [0, ∞)

**сорт** ортогональная проекция изображения: снимки -> ортогональное изображение

**сорт** площадь льда на снимке: снимки -> R [0, ∞)

горизонтальный угол обзора ≡ I(0, 360]

вертикальный угол обзора ≡ I(0, 360]

≡ I[0, 180]

≡ I[0, 360]

≡ I[0, 90]

высота над уровнем моря ≡ R [0, ∞)

эффективное фокусное расстояние ≡ R(0, ∞)

оптические характеристики камеры ≡ (хгоризонтальный угол обзора –> угол, вертикальный угол обзора –> угол, эффективное фокусное расстояние)

пространственные характеристики камеры ≡ (х высота камеры, gps-координаты)

**сорт** высота камеры: камера -> высота над уровнем моря

**сорт** характеристики камеры: камера -> (× оптические характеристики камеры, пространственные характеристики камеры)

### Онтологические соглашения

(img: снимки) (obj1: объекты) (obj2: объекты) (obj1 ≠ obj2) (x: координаты объекта на снимке (obj1)) (y: координаты объекта на снимке (obj2)) => x ≠ y

два различных объекта не могут иметь общие координаты на одном снимке

(img: снимки) (obj1: объекты) (obj2: объекты) (obj1 ≠ obj2) => gps-координаты объекта на снимке (img, obj1) ≠ gps-координаты объекта на снимке (img, obj2)

два различных объекта не могут иметь общие gps-координаты на одном снимке

(img: снимки) (obj1: объект снимка (img)) (obj2: объект снимка (img)) (x1: расстояние до объекта по горизонтали (img, obj1)) (x2: расстояние до объекта по горизонтали (img, obj2)) (y1: расстояние до объекта по длине(img, obj1)) (y2: расстояние до объекта по длине(img, obj2)) (obj1 ≠ obj2) => (× x1, y1) ≠ (× x2, y2)

два различных объекта не могут иметь общие пространственные координаты для одного снимка

(obj: объекты) (t: траектория (obj)) => t ≠ ∅

для любого объекта траектория не может быть пустым множеством

(imgs: **последовательность снимков**) (n: I[2, length(imgs)]) (obj: объекты) **скорость** (imgs, n, obj) = (**пройденное объектом расстояние** (π(n-1, imgs), π(n, imgs), obj) / (**время получения снимка** (π(n, imgs)) - **время получения снимка** (π(n-1, imgs))))

скорость объекта – его пройденное расстояние между позициями на соседних снимках, делённое на разность времени создания этих снимков

(img1, img2: снимки) (obj: объекты) **пройденное объектом расстояние** (img1, img2, obj) = √(**расстояние до камеры** (img1, obj)^2 + **расстояние до камеры** (img2, obj)^2 – 2\* **расстояние до камеры** (img1, obj) \* **расстояние до камеры** (img2, obj)\*cos(**угол положения камеры относительно направления на север** (img2) - **угол положения камеры относительно направления на север** (img1)))

(img: снимки) (obj: объекты) (cam: камера) **расстояние до камеры** (img, obj) =

(cam: камера) (model: модель Земли) (obj: объект (gps\_obj)) (gps\_cam: gps-координаты (cam)) (φ\_cam: широта (gps\_cam)) (λ\_cam: долгота(gps\_cam)) (h\_cam: высота(gps\_cam)) (gps\_obj: gps-координаты (obj)) (φ\_obj: широта (gps\_obj)) (λ\_obj: долгота(gps\_obj)) (h\_obj: высота(gps\_obj)) (a: большая полуось эллипсоида) (f: коэффициент сжатия эллипсоида) gps-координаты объекта на снимке (model, img, obj) = (× широта конечной точки (), долгота конечной точки())

## Постановка прикладных задач

Дано:

* последовательность снимков
* высота камеры
* оптические характеристики камеры

Найти:

* число объектов
* скорость каждого объекта
* расстояние до каждого объекта
* направление каждого объекта на каждом снимке
* географические координаты каждого объекта
* процентное соотношение льда и остальной поверхности на каждом снимке
* ортогональную проекцию местности на каждом снимке

1. Пользователь загружает в систему снимки для анализа.
2. Если снимки удовлетворяют условиям (для каждого снимка, кроме одного, должен существовать снимок, созданный не позже, чем через 30 секунд с момента создания первого; в последовательности таких снимков угол камеры относительно направления на север должен меняться в одну и ту же сторону), то система применяет методы улучшения изображений снимков: <перечисление методов>.
3. Система определяет число объектов.
4. Система определяет приблизительные размеры объектов.
5. Система определяет скорость каждого объекта.
6. Система определяет траекторию каждого объекта.
7. Система определяет GPS-координаты каждого объекта.
8. Система определяет, сколько процентов лёд занимает на каждлм снимке.
9. Система выводит полученные данные.
10. Если пользователь запрашивает горизонтальный снимок определённого изображения, то система строит ортогональную проекцию этого изображения.

Направляющие косинусы:

Коэффициенты прямого линейного преобразования:

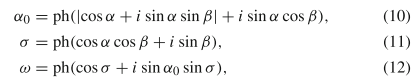
Связь координат изображения с мировыми координатами

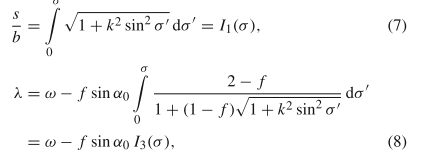
Матрица связи мировых координат (x, y, z) с координатами снимка (u, v)

где u,v – координаты пикселя снимка.

где – фокусное расстояние

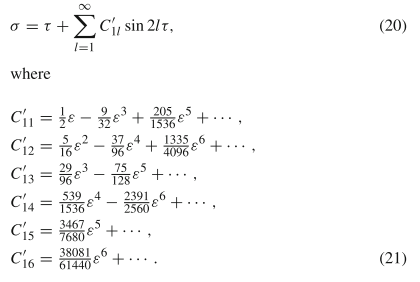
Определение содержания льда:

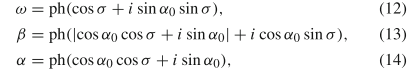


















# Спецификация требований и проектирование

## Требования

### Общие требования

* + - 1. Система должна применять алгоритм увеличения контраста изображения перед его анализом.
      2. Система должна применять алгоритм увеличения яркости изображения с учётом гистограммы яркости перед его анализом.
      3. Система должна применять алгоритм изменения тонового распределения изображения перед его анализом.
      4. Система должна использовать математическую модель камеры с коэффициентами прямого линейного преобразования.
      5. Система должна использовать алгоритм 8-ми масок для утоньшения скелетов на изображении.
      6. Система должна строить скелеты объектов на основе изображений скелетов, полученных после алгоритма наложения 8-ми масок.
      7. Система должна сравнивать скелеты графов с помощью метода сравнения иерархий графов.
      8. Система должна обрабатывать цифровые снимки в формате jpg.
      9. Система должна обрабатывать цифровые снимки размером от 352 до 10320 пикселей по ширине и от 288 до 8956 пикселей по высоте.

### Пользовательские требования

* + - 1. Интерфейс системы должен быть русскоязычным.
      2. Система должна обеспечивать ввод группы цифровых снимков.
      3. Система должна обеспечивать вывод количества найденных объектов на серии снимков.
      4. Система должна обеспечивать вывод размеров, скорости, gps-координат, расстояния до камеры для каждого объекта каждого снимка.
      5. Система должна обеспечивать вывод ортогональной проекции любого снимка.
      6. Система должна обеспечивать возможность сохранения рассчитанных размеров, скорости, gps-координат, расстояния до камеры для любого объекта любого снимка в базу данных.
      7. Система должна обеспечивать возможность сохранения в базу данных рассчитанной занимаемой льдом площади для любого изображения.
      8. Система должна обеспечивать возможность сохранения полученной ортогональной проекции любого изображения.
      9. Система должна обеспечивать ввод имени базы данных, в которую будет сохраняться информация из требований [3.1.2.6](#сохранение_объектов) и [3.1.2.7](#сохранение_площади).
      10. Система должна позволять удалять из базы данных информацию, которая была сохранена ею в соответствии с требованиями [3.1.2.6](#сохранение_объектов) и [3.1.2.7](#сохранение_площади).

### Функциональные требования

* + - 1. Система должна принимать цифровые снимки для проведения их анализа.
      2. Система должна выделять движущиеся объекты на серии снимков (см. [3.1.3.1](#требование_о_принятии_снимков)).
      3. Система должна определять расстояние от камеры до объекта (см. [3.1.3.2](#требование_об_определении_объектов)) для каждого снимка (см. [3.1.3.1](#требование_о_принятии_снимков)).
      4. Система должна определять скорость объекта (см. [3.1.3.2](#требование_об_определении_объектов)) для каждого снимка из серии (см. [3.1.3.1](#требование_о_принятии_снимков)), кроме первого.
      5. Система должна определять gps-координаты объекта (см. [3.1.3.2](#требование_об_определении_объектов)) для каждого снимка (см. [3.1.3.1](#требование_о_принятии_снимков)).
      6. Система должна определять размеры объекта (см. [3.1.3.2](#требование_об_определении_объектов)) для каждого снимка (см. [3.1.3.1](#требование_о_принятии_снимков)).
      7. Система должна строить ортогональную проекцию каждого снимка (см. [3.1.3.1](#требование_о_принятии_снимков)).
      8. Система должна взаимодействовать с базой данных MySQL версии не ниже 5.
      9. Система должна по требованию пользователя сохранять ортогональную проекцию (см. [3.1.3.7](#строить_проекцию)) изображения в файл формата jpg.
      10. Система должна по требования пользователя сохранять информацию об объектах в базу данных, полученную в соответствии с требованиями [3.1.3.3](#расстояние_до_объекта) – [3.1.3.6](#размеры_объекта).
      11. Система должна по требования пользователя удалять информацию об объектах из базы данных,.

### Требования к входным данным

* + - 1. Изображение – цифровое изображение, представленное в стандарте jpg.
      2. Метаинформация в изображении (см. [3.1.4.1](#изображение_jpg)) должно содержать информацию о gps-координатах камеры, горизонтальном и вертикальном углах обзора, азимуту камеры, высоте камеры над уровнем моря и время создания снимка.

### Требования к выходным данным

* + - 1. Обнаруженные объекты на каждом снимке должны обводиться зелёным контуром.
      2. Внутри каждого контура из требования [3.1.5.1](#требование_зелёного_контура) система должна рисовать уникальный номер объекта, который идентифицирует этот объект для всей серии снимков.
      3. Система должна по требованию пользователя сохранять в базу данных (см. [3.1.3.8](#mysql)) расстояние до объекта (см. [3.1.3.3](#расстояние_до_объекта)), скорость объекта (см. [3.1.3.4](#скорость_объекта)), gps-координаты объекта (см. [3.1.3.5](#gps_координаты_объекта)), размеры объекта (см. [3.1.3.6](#размеры_объекта)).

### Требования к надёжности и мобильности системы

* + - 1. Система должна быть совместимой с Unix-подобными операционными системами.
      2. Система должна обеспечивать целостность базы данных при внесении изменений в неё.

### Требования к серверу БД

* + - 1. СУБД должна являться MySQL версии не ниже 5.
      2. БД не должна содержать базу данных, название которой совпадает с названием базы из требования [3.1.2.9](#ввод_имени_бд).
      3. СУБД должна быть установлена на IBM-совместимый компьютер с объёмом ОЗУ не менее 1024 Mb.
      4. СУБД должна быть установлена на IBM-совместимый компьютер с тактовой частотой ЦП не менее 1,5 ГГц.

## Проект

### АКД

Пользователь

Система

Пользовательский интерфейс

Модуль анализа снимков

Модуль обмена данными

БД снимков

Прибрежная зона



Камера



Ввод временного диапазона для анализа

Фотографии

Команды

Результат анализа

Отображение числовой информации и изображений с траекториями объектов

Запрос фотографий

Передача sql-запросов

Результаты запроса

Запрос пользователя

Фотографии и информация о содержимом БД

Информация из внешнего мира

Изображение (jpeg, bmp)

1. Архитектурно-контекстная диаграмма

Архитектурно-контекстная диаграмма представляет схему взаимодействия компонентов системы между собой, а так же схему взаимодействия пользователя с системой.

Компоненты системы:

1. Пользовательский интерфейс – компонент взаимодействия пользователя с системой
2. Модуль анализа снимков – компонент, анализирующий снимки. Выделяет объекты на снимках и производит вычисление их характеристик.
3. Модуль обмена данными – компонент связи других компонентов системы. Даёт возможность передавать данные между компонентами, а также просматривать и удалять содержимое БД снимков.
4. БД снимков – система хранения результатов анализа снимков и объектов, выделенных на них.

Пользователь – человек, который через Пользовательский интерфейс указывает системе снимки, которые необходимо проанализировать с помощью Модуля анализа снимков. Также может просматривать и редактировать содержимое БД снимков.

Навыки:

1. Понимает русский язык.
2. Умеет работать с компьютерной мышью и клавиатурой.

Для начала работы программы пользователь вводит данные в систему с помощью пользовательского интерфейса. Пользовательский интерфейс передаёт введённые данные и команду начала работы Модулю анализа снимков. Тот посылает запрос на получение данных Модулю обмена данными. Модуль обмена данными посылает запрос БД снимков для их получения. В ответ БД снимков посылает данные Модулю обмена данными; он передаёт эти данные Модулю анализа снимков. Модуль анализа снимков производит вычисления и отправляет результаты Интерфейсу взаимодействия с системой; он отображает эти результаты пользователю.

Пользователь может просмотреть или удалить содержимое из БД снимков. Для этого пользователь вводит данные и обращается с соответствующей командой к Пользовательскому интерфейсу. Пользовательский интерфейс передаёт запрос Модулю обмена данными, который передаёт этот запрос БД снимков. Затем БД снимков обрабатывает полученный запрос и передаёт результат выполнения запроса модулю обмена данными. Тот в свою очередь передаёт эти данные Пользовательскому интерфейсу, который их отображает пользователю.

Камера служит для получения снимков местности и записи их в базу данных

### Диаграмма вариантов использования



1. Диаграмма вариантов использования

Пользователь:

* Запрашивает (инициирует):
  + Начало анализа снимков за период времени (из БД снимков)
* Выбирает снимок
* Удаляет информацию из БД снимков
* Вводит начальную и конечную даты для запросов и операций
* Просматривает:
  + Результат запроса на удаление данных из БД снимков
  + Число объектов на снимке, выявленное в результате анализа
  + Просмотр географических координат конкретного объекта
  + Просмотр скорости конкретного объекта
  + Просмотр направления конкретного объекта

Пример

* Запрос анализа снимков
  + Пользователь переходит в меню анализа снимков
  + Выбирает временной диапазон для анализа
  + Выбирает снимок для просмотра результатов анализа
  + Просматривает число объектов на снимке
  + Просматривает координаты объектов
  + Просматривает расстояние до объектов
  + Просматривает скорость объектов
  + Просматривает направления объектов

### Диаграмма взаимодействия

Диаграмма показывает последовательность взаимодействия компонентов системы между собой при участии пользователя.

19: Отправка данных

13: Удаление данных

11: Передача данных

1: Анализ снимков

User: Пользователь

UI: Пользовательский интерфейс

Cooperator: Модуль обмена данными

12: Удаление данных

16: Просмотр данных

2: Запуск анализа

8: Анализ данных

Analyzer: Модуль анализа снимков

15: Удаление данных

17: Запрос данных

20: Передача данных

14: Запрос удаления

10: Передача данных

9: Отправка данных

7: Передача данных

6: Отправка данных

3: Запрос данных

4: Запрос данных

DB: БД снимков

18: Запрос данных

21: Передача данных

5: Поиск данных

1. Диаграмма взаимодействия

### Диаграмма потоков данных



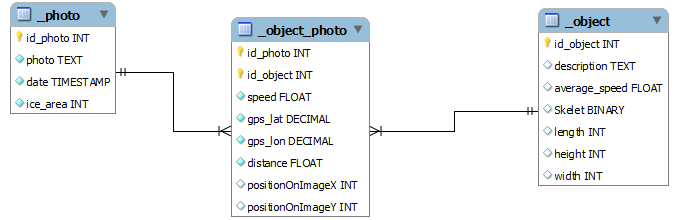
1. Диаграмма потоков данных

### Схема базы данных

Для работы с БД решено использовать MySQL-сервер.

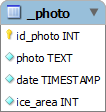
Он будет использоваться для хранения фотографий и результатов их анализа.

База данных представляется следующей схемой:



1. База данных

Таблица \_photo:

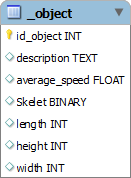


1. Таблица фотографий

Представляет собой способ хранения фотографии:

* id\_photo (INT) – первичный ключ
* photo(TEXT) – путь к фотографии в файловой системе
* date\_time (TIMESTAMP) – время создания фотографии
* ice\_area (INT) – площадь, которую занимает лёд на текущем снимке

Таблица \_object

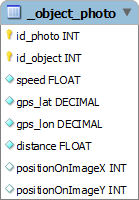


1. Таблица объектов

Предназначена для хранения характеристик объектов.

* id\_object (INT) – первичный ключ для объекта
* description (TEXT) – пользовательское описание объекта
* average\_speed (FLOAT) – средняя скорость объекта для всей траектории
* Skelet (BINARY) – скелет объекта, полученный в программе
* length (INT) – длина объекта
* height (INT) – высота объекта
* width (INT) – ширина объекта

Таблица \_object\_photo



1. Таблица связи фотографий с объектами

Связывает фотографию и найденные на ней объекты

* id\_photo(INT) – первичный ключ из таблицы \_ photo
* id\_object (INT) – первичный ключ из таблицы \_object
* speed (FLOAT) – скорость объекта на текущем снимке
* gps\_lat (DECIMAL) – широта положения объекта на текущем снимке
* gps\_lot (DECIMAL) – долгота положения объекта на текущем снимке
* distance (FLOAT) – расстояние до объекта
* positionOnImageX (DECIMAL) – x-координата пикселя центра объекта на текущем снимке
* positionOnImageY (DECIMAL) – y-координата пикселя центра объекта на текущем снимке

### Проект данных

* + - 1. Пользовательский интерфейс

struct ObjectPhoto – повторяет строку из базы данных в таблице \_object\_photo

{

unsigned int id\_photo, id\_object;

float speed, distance;

double gps\_lat, gps\_lon, path\_x, path\_y;

};

* + - 1. Модуль анализа снимков

В OpenCV описан тип данных, предназначенный для представления изображения:

typedef struct \_IplImage {

int nSize; // sizeof(IplImage)

int ID; // Версия (=0)

int nChannels; // Число каналов

int alphaChannel; // Альфа-канал

int depth; // Глубина в битах

char colorModel[4]; // Не используется в OpenCV

char channelSeq[4]; // Аналогично

int dataOrder; // Расположение каналов

int origin; // Начало координат

int align; // Выравнивание строк изображения (OpenCV использует widthStep)

int width; // Ширина

int height; // Высота

struct \_IplROI\* roi; // ROI

struct \_IplImage\* maskROI; // =0

void\* imageId; //

struct \_IplTileInfo\* tileInfo; //

int imageSize; // Память выделенная под изображение

char\* imageData; // Данные изображения

int widthStep; // Число байт в одной строке изображения

int BorderMode[4]; // Не используется в OpenCV

int BorderConst[4]; // Аналогично

char\* imageDataOrigin; // Используется для правльного освобождения памяти

} IplImage;

* + - * 1. Построение скелета

struct CvPoint {

int x, y;

}; - встроенная в OpenCV структура. Представляет точку на изображении.

struct coordinates {

float latitude, longitude;

};

struct Arch {

vector <CvPoint> points;

}; - массив точек, из которых состоит дуга

struct Skelet {

vector <Arch> arch;

}; - массив дуг, составляющих скелет

struct TwoPoints {

CvPoint vertex; - координаты вершины

CvPoint neighbor; - координаты соседней точки для вершины vertex

}; - структура представляет пару точек – вершина и её сосед. Используется при построении скелета объекта.

* + - * 1. Нахождение объектов на снимке

Решено представлять связку объект-фотография с помощью класса:

class object\_photo {

private:

int photoId, objectId; - идентификаторы записей в базе данных

CvPoint positionOnImage; - координата центра пикселя объекта на изображении

public:

float distance; - расстояние от камеры до объекта

coordinates gps; – координаты объекта для текущего снимка

Skelet skelet; - скелет объекта для текущего снимка

};

* + - * 1. Вычисление мировых координат

struct worldCoordinates {

float x,y,z; – мировые координаты

}

# Испытания системы «Анализ панорамных снимков»

## Описание предметной области испытаний

Рассмотрим предметную область «Анализ снимков пролива, полученных с помощью стационарных поворотных камер».

Профессионалом данной предметной области считается человек решающий следующие задачи:

1. Поиск одинаковых объектов на снимках.
2. Расчёт следующих характеристик каждого объекта по известным оптическим и пространственным параметрам камеры: расстояние, gps-координаты, скорость, размеры, траектория.
3. выявление изображения льда на снимке.
4. Расчёт площади, занимаемой льдом на местности снимка.
5. Составление плана местности каждого снимка с отмеченными объектами.

Результаты вычислений заносятся в таблицы на бумажных или электронных бланках. План местности рисуется на бумажных или в электронных документах.

## Автоматизация предметной области

Для автоматизации деятельности требуется совершить следующий набор действий:

1. Предоставить на вход системе группу последовательных снимков.
2. Выбрать нужную операцию:
   1. Проанализировать снимки на предмет наличия движущихся объектов.
   2. Проанализировать снимки на предмет наличия льда.
   3. Построить ортогональную проекцию одного из снимков.
3. Ознакомиться с полученным результатом, либо сохранить его в базу данных.

## Преимущества автоматизации

С помощью системы «Анализ панорамных снимков» становится возможным автоматизировать выполнение задач анализа снимков. Система упрощает хранение и просмотр полученных результатов анализа, полностью перенимает на себя вычислительные задачи, тем самым значительно сокращая время достижения цели – получения данных об объектах панорамных снимков.

# Заключение

В результате работы над дипломной работой был произведён обзор литературы на тему «Существующие системы распознавания объектов на панорамных электронных снимках» на основе информации из 34 источников, включая статьи о распараллеливании компьютерных процессов, повышении качества изображений и способах поиска похожих объектов на цифровых снимках.

Был произведён анализ предметных областей «Определение параметров объектов на снимках», «построение ортогональной проекции изображений» и «детектирование льда на снимках по цвету в видимом спектре» и их моделирование с помощью языка онтологий.

Реализация программной системы была осуществлена с помощью системы компьютерного зрения OpenCV 2.4.4. Взаимодействие с базой данных было установлено с помощью MySQL Connector/C++. Способы работы со средствами OpenCV и MySQL Connector/C++ были изучены по русско- и англоязычным статьям, а так же с помощью их документации.

База данных была реализована в СУБД MySQL 5. В процессе проектирования БД использовалась программная система MySQL Workbench 5.2.

В ходе проектирования был изучен способ обработки изображений, представленных в стандартном формате библиотеки OpenCV, улучшено владение языком SQL, изучен способ взаимодействия с базой данных СУБД MySQL с помощью кода C++.

Перечень результатов дипломной работы:

* составлен обзор литературы на тему «Определение параметров движения объектов на панорамных снимках» и обоснована необходимость разработки системы «Анализ панорамных снимков»;
* осуществлён анализ предметных областей «Определение параметров объектов на снимках», «построение ортогональной проекции изображений», «детектирование льда на снимках по цвету в видимом спектре» и разработаны их формальные модели;
* спроектирована и реализована система «Анализ панорамных снимков»;
* осуществлено тестирование системы «Анализ панорамных снимков»;
* описан эксперимент и указаны преимущества от автоматизации описанной предметной области с помощью системы «Анализ панорамных снимков»;

Перечисленные результаты полностью покрывают поставленные цели дипломной работы. Все задачи, необходимые для достижения поставленных целей, были решены.

# Литература

1. Holland K.T., Holman R.A., Lippmann T.C., Stanley J. «Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies» IEEE Journal Of Oceanic Engineering. 1997. VOL. 22, № 1, P.81–82.

2. J. R. Apel, “Ocean science from space,” EOS Trans. Amer. Geophys. Union, vol. 57, pp. 612–624, 1976.

3. P. G. McCurdy, Manual of Photogrammetry. New York: Pitman, 1944, pp. 1–841.

4. R. Y. Tsai, “A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses,” IEEE J. Robot. Automat., vol. RA-3, pp. 323–344, 1987.

5. Y. D. Park and B. H. Roh “Directshow-based multi-channel surveillance system architecture for simultaneous real-time remote monitoring on the internet,” Collection of Learned Papers of Fall Conferences of the Korea information Science Society, Vol. 30, 2003, pp. 424-426.

6. Remote Detection and Monitoring of a Water Level Using Narrow Band Channel JAEHYOUNG YU AND HERNSOO HAHN //JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING 26, 71-82 (2010)

7. Huang Т. S , Chikhaoui M. Т., The Effect of BSC on PCM Picture Quality, IEEE Trans. Inf. Theory, IT-13, 2, 270—273 (April 1967).

8. Young I. T. Mott-Smith J. C, On Weighted PCM, IEEE Trans. Inf. Theory (Correspondence), 1T-11, 4, 596—597 (October 1965).

9. Huang T. S., Tretiak O. J., Prasada В., Yaraaguchi Y., Design Considerations in PCM Transmission of Low-Resolution Monochrome Still Pictures, Proc. IEEE, 55, 3, 331—335 (March 1967). [Имеется перевод: Хуан, Третьяк, Прасада, Ямагуши. Соображения по конструированию КИМ-систем для передачи неподвижных одноцветных изображений инзкой четкости. — 1ИПЭР тематический вып. «Сокращение избыточности», 1967, т. 55, № 3, с. 97—102.]

10. Pratt W. К., Digital Color Image Coding and Transmission, University of Southern California, Electronic Sciences Laboratory, USCEE Report 403, June 1971.

11. Knight J. M., Maximum Acceptable Bit Error Rates for PCM Analog and Digital TV Systems, Proceedings National Telemetering Conference, 1962, pp. 1-9.

12. Papoulis A., Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, McGraw-Hill, New York, 1965.

13. Arguello R. J., Sellner H. R., Stuller J. A., The Effect of Channel Errors in the Differential Pulse-Code Modulation Transmission of Sampled Imagery, IEEE Trans. Commun. Tech., COM-19, 6, 926—933 (December 1971).

14. Л. Шапиро, Дж. Стокман Компьютерное зрение. Перевод с английского А. А. Богуславского под редакцией С. М. Соколова – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. - 752 с

15. Выделение и анализ скелетов объектов на цветных снимках [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://swsys.ru/index.php?page=article&id=2198>

16. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Изд-во Ин-та матем., 1999. 270 с.

17. 33. OpenCV шаг за шагом. Сравнение контуров через суммарные характеристики - моменты / Компьютерное зрение / RoboCraft – Режим доступа: <http://robocraft.ru/blog/computervision/867.html>

18. T. Vincenty, “Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with application of nested equations”, Survey Review XXIII.1975. Vol. 93, P. 88-89.

19. Rainsfbrd, И. F. Long geodesies on (he ellipsoid. Bull. Geocl., No. 37, 1955.

20. Rapp, R. H. Geometric geodesy notes. The Ohio State Univ., 1969.

21. Charles F. F. Karney Algorithms for geodesics SRI International, 201 Washington Rd, Princeton, NJ 08543-5300, USA

22. R. A. Holman, A. H. Sallenger, Jr., T. C. Lippmann, and J. W. Haines, “The application of video image processing to the study of nearshore processes”, Oceanography. 1993. Vol. 6, P. 85, P. 78–85.

23. Вращение в одной системе координат— Викиверситет – Режим доступа: <http://ru.wikiversity.org/wiki/Вращение_в_одной_системе_координат>

24. Матрица поворота — Википедия – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Матрица_поворота>

25. Лурье А. И. Аналитическая механика — М.:Физматлит — 1961 г. — 824 с.

26. Использование GPU для решения задач компьютерного зрения в библиотеке OpenCV – Режим доступа:

<https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:T09dp1hWRy8J:agora.guru.ru/hpc-h/files/Using_GPU_for_computer_vision_in_OpenCV_library.pdf+&hl=ru&gl=ru&pid=bl&srcid=ADGEEShIycclmOxBOLkpqmLz_6WJEquDMzD9XoTZ7Ft8auLGTltb1gvGvCFizlqTNuxJJGE8S28R4n3fV1Hnw021ffaLpw6D0nygpreKtStJFbp3_zW6iVqUGs_GXC3unMzPGP7VKyXO&sig=AHIEtbRBmnd7FXJgBlHlYHjgN6bwoy-3Ww>

27. Развитие вычислений на GPU: преимущества архитектуры Fermi — МИР NVIDIA – Режим доступа: <http://nvworld.ru/articles/calculations-on-gpu-advantages-fermi/>

28. С.С. Ефимов, ОБЗОР МЕТОДОВ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ – Математические структуры и моделирование 2007, вып. 17, с. 72–93

29. Гергель В.П., Стронгин Р.Г. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем. Учебное пособие: Изд. 2-е, доп-е. Н.Новгород: изд-во ННГУ, 2003.

30. Миллер Р., Боксер Л. Последовательные и параллельные алгоритмы: Общий подход. М: Бином. Лаборатория знаний, 2006. 406 с.

31. Букатов А. А., Дацюк В. Н., Жегуло А. И. Программирование многопроцессорных вычислительных систем. Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «ЦВВР», 2003. 208 с.

32. Белый тон фотоизображения льда является основным дешифровочным признаком наледей. Кроме прямых призн - AviationsWeb.ru – Режим доступа: <http://www.aviationsweb.ru/study-30-8.html>

33. Назаров А.С. Фотограмметрия: учебное пособие для студентов вузов. Мн.: ТетраСистемс, 2006. 368с.

34. Постановление Правительства РФ от 28.07.2000 N 568 "Об установлении единых государственных систем координат" - Нормативные правовые акты - Бланки и документы - Управление Росреестра по Владимирской области – Росреестр – Режим доступа: <http://www.to33.rosreestr.ru/blanks/blanks_norm/1027239/>