

Быстрые алгоритмы анализа изображений со структурными искажениями

Корнилов Ф.А., Костоусов В.Б., Перевалов Д.С.

Институт Математики и Механики УрО РАН, г. Екатеринбург

denis.perevalov@mail.ru

Институт математики и механики

Уральского отделения РАН

основан в 1956 г. чл.-корр. Сергеем Борисовичем Стечкиным.

Отдел Прикладных Проблем Управления

Руководитель: к.ф.-м.н. Виктор Борисович Костоусов

С 1995 г. - задачи обработки и распознавания космических
СНИМКОВ.

С 2005 г. - задачи анализа видео, СТЗ.

Организации, с которыми ведется работа, связанная с анализом
изображений:

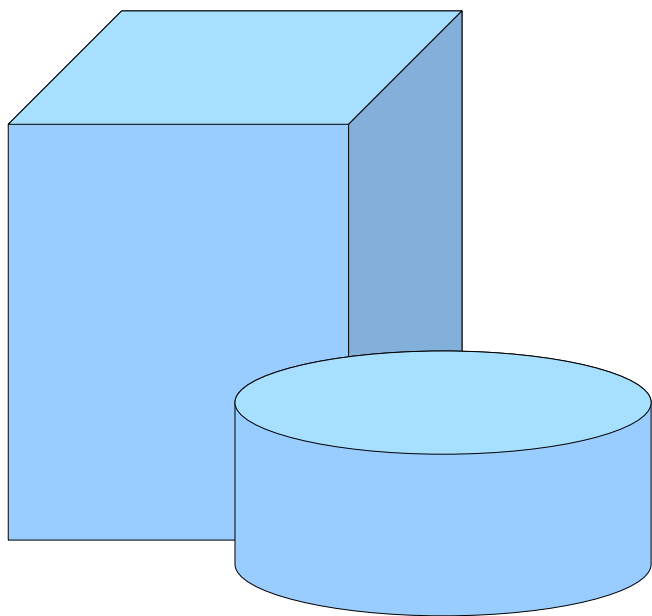
- ФГУП Госцентр ПРИРОДА (Москва)
- ФГУП Уралгеоинформ (Екатеринбург)
- Институт проблем морских технологий ДВО РАН (Владивосток)
- Уральское отделение ОАО «ВНИИЖТ» (Екатеринбург)

План доклада

1. Понятие структурных искажений
2. Алгоритм сопоставления с эталоном на основе аппарата матриц сравнений
3. Алгоритм нахождения областей структурных изменений на двух геометрически выровненных изображениях

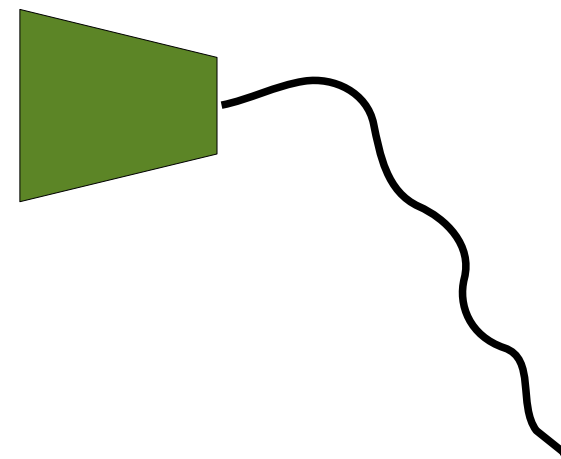
1. Понятие структурных искажений

Компоненты формирования цифрового изображения



Сцена

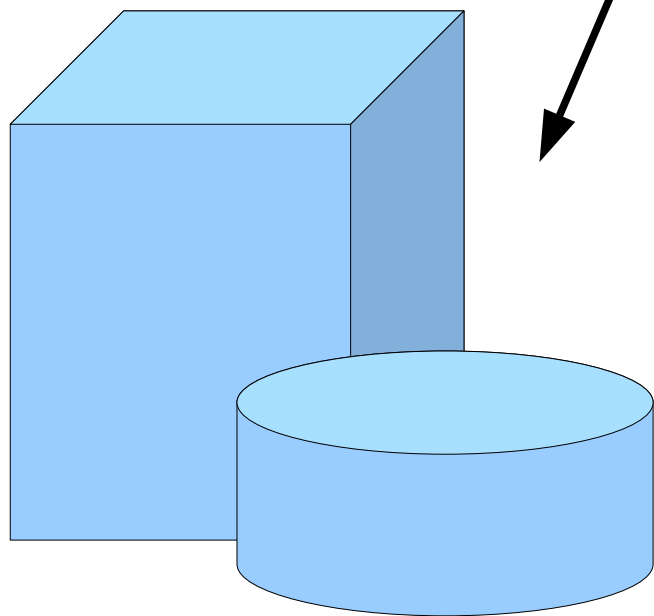
Среда



Камера

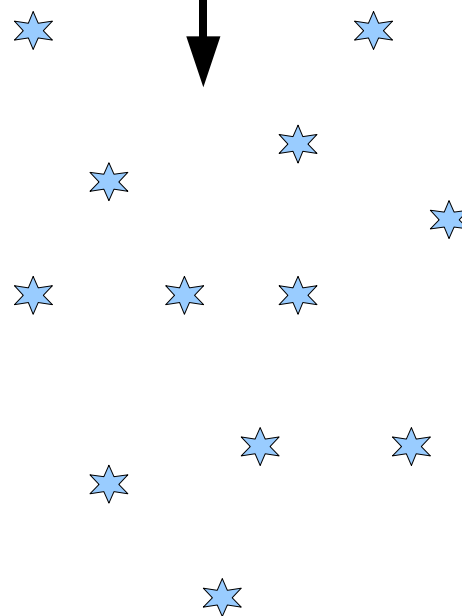
Компоненты формирования цифрового изображения

ИСТОЧНИКИ ИСКАЖЕНИЙ



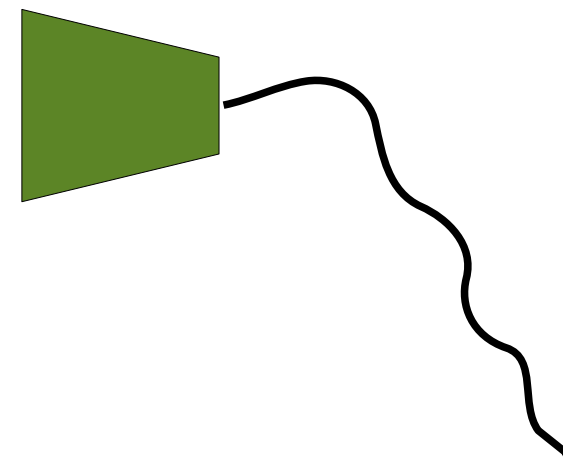
Сцена

Изменение цвета и формы объектов



Среда

Условия освещения, снег, дождь.
Тени от других объектов.



Камера

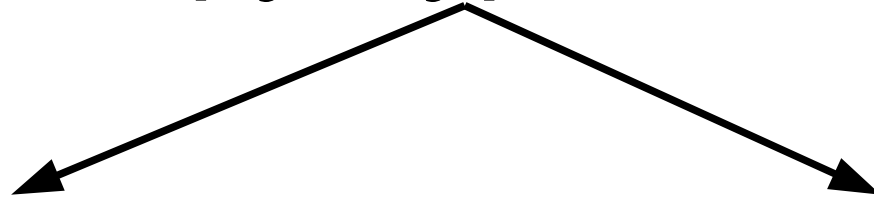
Дефокусировка,
шумы АЦП.

Структурные искажения

Будем называть **структурными** такие искажения изображения, которые нельзя смоделировать наложением аддитивного шума, применением линейной фильтрации и т.п.

Иными словами, структурные искажения содержат «комбинаторный» элемент.

Классы структурных искажений



Цветовые

Изменение цвета всего объекта или его части, а также блики или тени на объекте.

Геометрические

Изменение формы самого объекта, либо загораживание объекта другими объектами.

Сценарии преодоления проблем при наличии структурных искажений

1. Допустить, что структурные изображения малы или их нет.
2. Потребовать управляемых условий освещения, отсутствие посторонних объектов и утвердить класс объектов, с которыми гарантируется работа алгоритма.
3. Построить алгоритм ad hoc, исправляющий искажения для данной конкретной задачи.
- 4. Использовать и разрабатывать алгоритмы, которые по своему устройству устойчивы к структурным искажениям.**

2. Алгоритм сопоставления с эталоном на основе аппарата матриц сравнений

Алгоритм сопоставления с эталоном, основанный на матрицах сравнений

Пусть $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_n)^T$ — полутоновое изображение.

Матрица сравнений $M = M(\mathbf{X})$ есть квадратная матрица размером $n \times n$:

$$M_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } X_i \geq X_j \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Алгоритм сопоставления с эталоном, основанный на матрицах сравнений

- Матрица сравнений - это матрица бинарного отношения “ \succeq ”
- Матрица сравнений **инвариантна** к изменениям яркости пикселов с помощью любой возрастающей функции, то есть устойчива к изменениям яркости и контраста



Алгоритм сопоставления с эталоном, основанный на матрицах сравнений

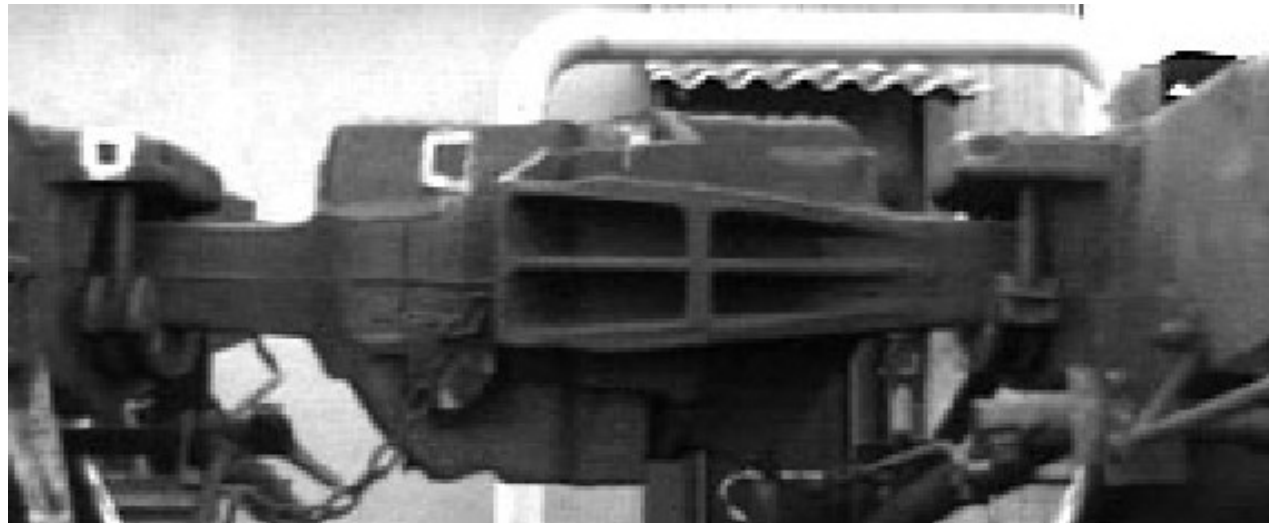
1. Рассчитать по эталонным изображениям среднюю матрицу сравнений.
2. Выбрать K пар пикселов (i_k, j_k) , где она принимает максимальное значение.

Критерий сопоставления входного изображения X :

$$\text{dist}(X) = K - \sum_{k=1}^K M(X)_{i_k j_k}$$

Пример применения

Рассмотрим задачу поиска узла автосцепки железнодорожных вагонов при съемке на открытом воздухе.



(Это часть СТЗ проекта по построению **робота-авторасцепщика** ж/д вагонов ВНИИЖТ)

Пример применения

Изображения сцепок весьма различны в зависимости от самой сцепки и условий освещения.



Тестовые данные

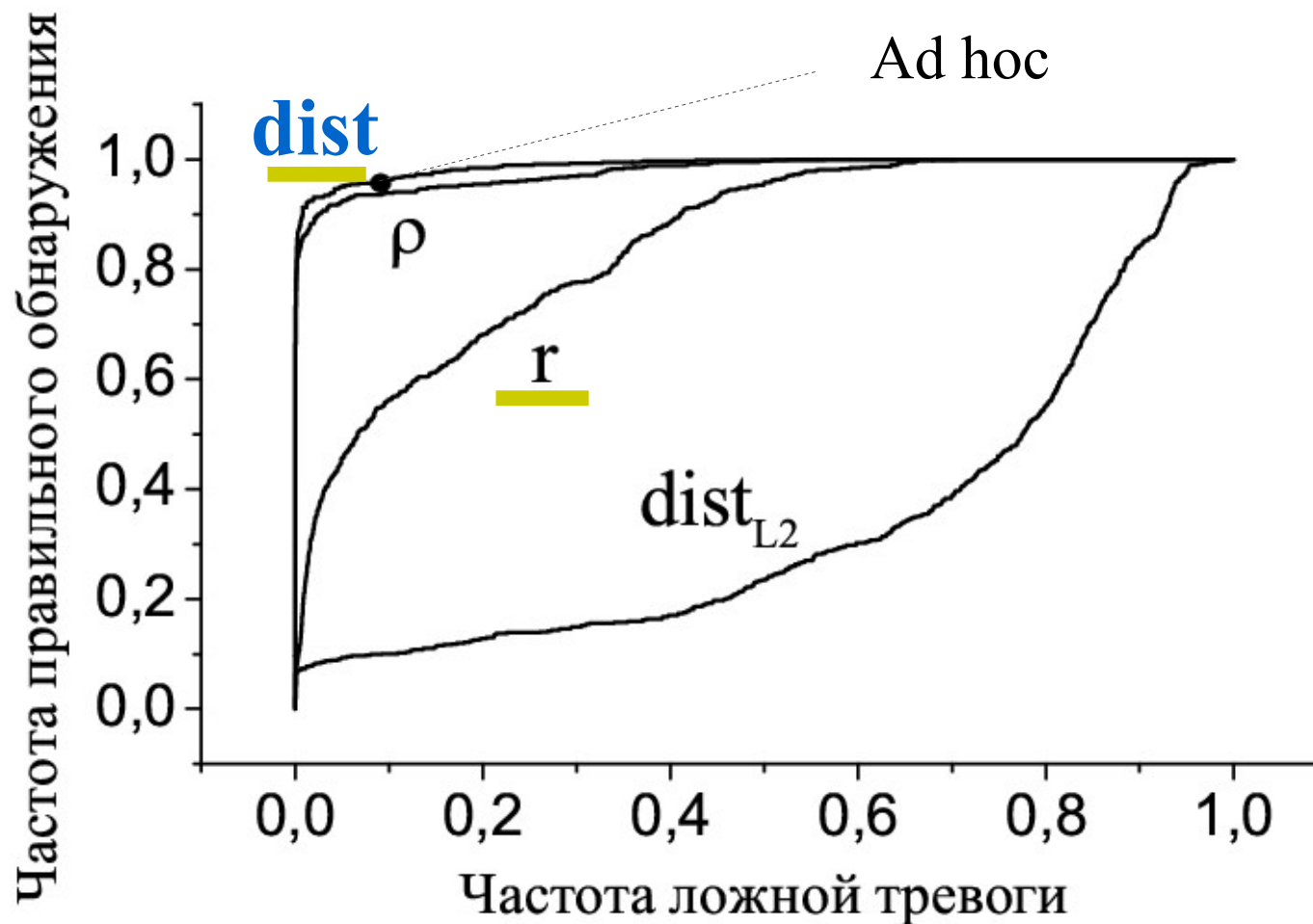
- Было взято **10** эталонов размером $n = 24 \times 9 = 216$ пикселей.
- Было размечено **685** = 137 x 5 кадров с 137 сцепками под разными ракурсами, **23211** кадров без сцепок.
- С помощью эталонов, используя несколько критериев сопоставления с эталонами был проведен анализ качества алгоритмов.

Используемые критерии

1. **dist**_{L₂} — расстояние в метрике L₂ до ближайшего эталона
2. **r** — коэффициент корреляции с усредненным эталоном
3. **ρ** — коэффициент корреляции Спирмена
4. **dist** — предложенный метод, $K = n$.
5. Ad hoc алгоритм, основанный на поиске темных прямоугольников в определенной конфигурации.

Результаты тестирования

ROC-кривые:



Результаты тестирования

Площадь ROC-кривой составила

1. **dist**_{L₂} — 0,3423
2. **r** — 0,8491
3. **ρ** — 0,9793
4. **dist** — 0.9894

Лучшие результаты по качеству – у предложенного алгоритма.

Число операций у всех методов асимптотически – **O(n)**.

А фактически число операций наименьшее у предложенного метода, так как он требует только **n** операций сравнения яркостей.

Выводы по матрицам сравнений

Матрицы сравнений предоставляют аппарат для построения моделей изображений и алгоритмов эффективного поиска объектов в сценах с неуправляемым освещением.

Направление дальнейшей работы

Использовать матрицы сравнений как источник для построения признаков в алгоритмах распознавания типа Виолы-Джонса (т.е. интегральные признаки + AdaBoost).

3. Алгоритм нахождения областей структурных изменений

Постановка задачи

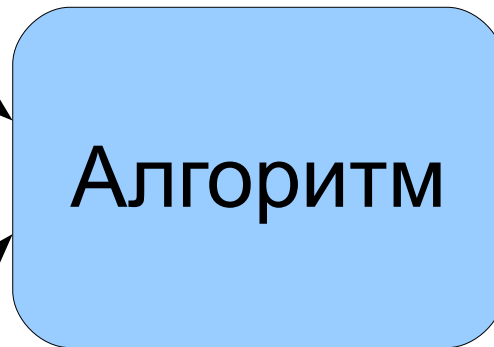
- Рассматриваются два снимка одного и того же участка земной поверхности
- Предполагается, что они геометрически выровнены и имеют одинаковый размер в пикселах
- На этих изображениях требуется найти области **структурных** изменений

Постановка задачи

Изображение 1



Изображение 2



Результат
поиска
изменений

Структурные изменения



Структурное
изменение

Неструктурное
изменение

Область применения

Анализ временных изменений на снимках земной поверхности, в первую очередь, отслеживание изменения домов и дорог.

Специфика:

- Объекты меняют свой цвет сложным образом
- Необходима высокая точность определения факта изменения весьма малых областей
- Необходима высокая точность контура вокруг изменившегося объекта

Возможные подходы к решению поставленной задачи

- **Поточечный анализ**
- Поиск и анализ контуров объектов
- Текстурная классификация

Схема алгоритма

Алгоритм состоит из двух шагов локальной обработки:

1. Локальная корректировка яркости пикселей и грубая оценка изменений.
2. Точная оценка с помощью вычисления «степени биективности».

Локальная корректировка яркости пикселей и грубая оценка изменений

Функция преобразования яркости изображения

$$f_{AB}(c) = M_{A_c}(I_B(x, y)),$$

$$\min(I_A(x, y)) \leq c \leq \max(I_A(x, y)),$$

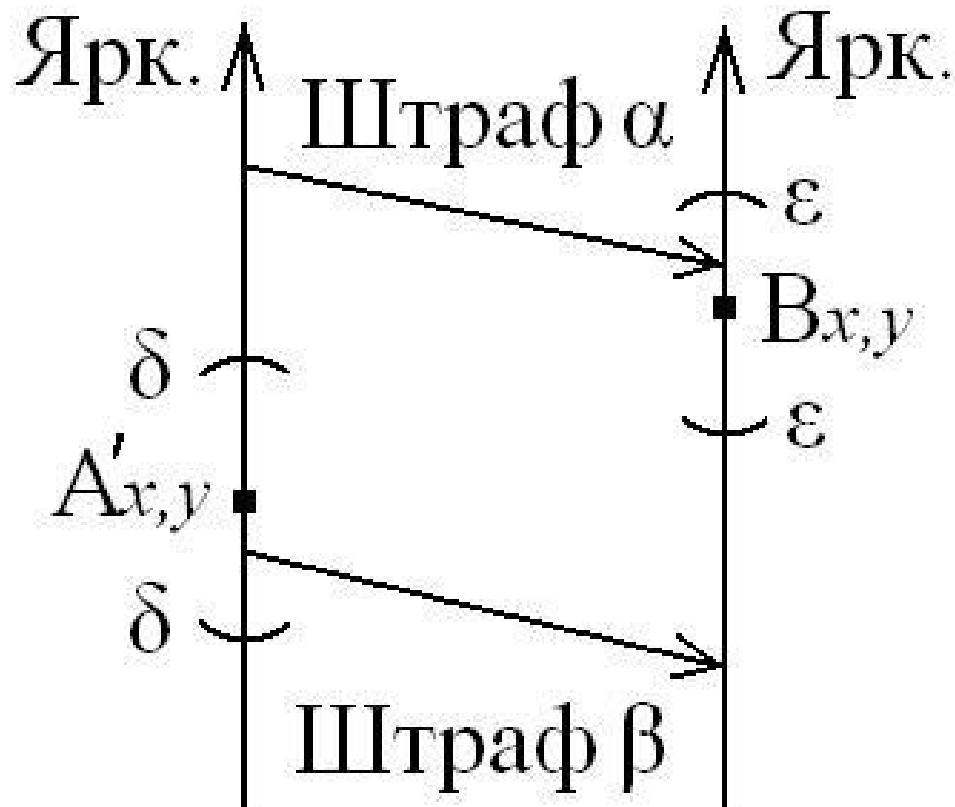
$$A_c = \{(x, y) : I_A(x, y) = c\}$$

Если изображение B получено из изображения A путем изменения цвета ряда областей, то построенная функция преобразует A точно в B .

Данная формула похожа на методы морфологического анализа из вчерашнего доклада Ю.П. Пытьева и А.И. Чуличкова ?

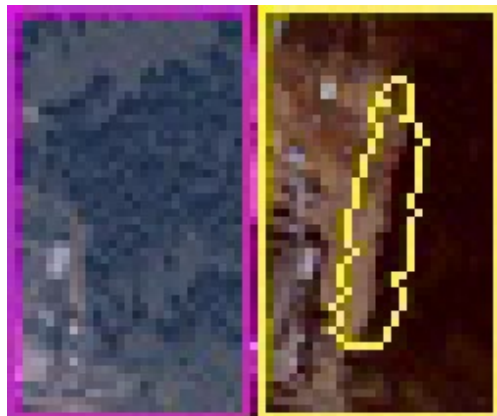
Точная оценка изменений

Вычисление «степени биективности»



- Модель отображения такова: окрестность яркости должна перейти в окрестность яркости, а точки снаружи – остаться снаружи.
- Итоговая оценка в точке (x,y) – сумма значений α и β .

Пример работы алгоритма



Пример работы алгоритма



Выводы по алгоритму поиска изменений

В целом, алгоритм показал хорошее качество работы при анализе космоснимков.

Фундаментальные проблемы алгоритма в данном применении — наличие изменяющихся теней, а также изменения растительности в разное время года, которая загоразивает часть объектов.

Направление дальнейшей работы

Использование контекстного анализа (MRF+MAP) для унифицированного решения обнаруженных проблем.

Благодарности

Благодарим ФГУП Уралгеоинформ,
ФГУП Природа и УрО ОАО ВНИИЖТ
за постановки задач и предоставленные
данные.