

# 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](mailto: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:

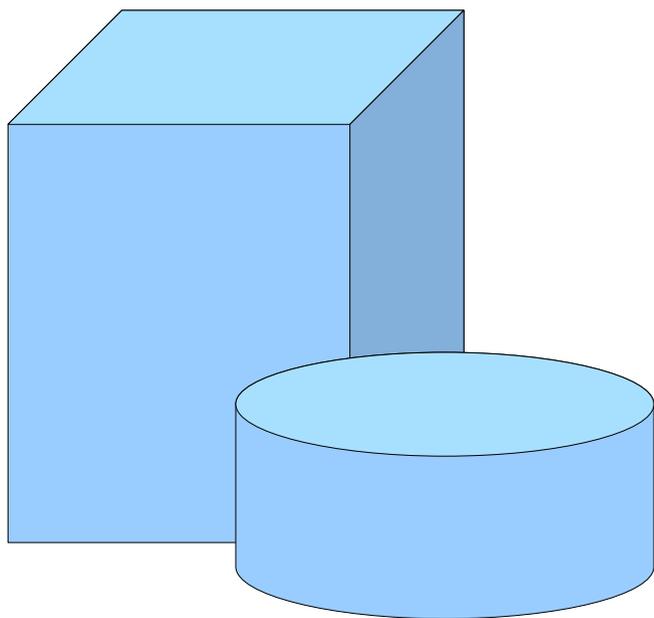
- ФГУП Госцентр ПРИРОДА (Москва)
- ФГУП Уралгеоинформ (Екатеринбург)
- Институт проблем морских технологий ДВО РАН (Владивосток)
- Уральское отделение ОАО «ВНИИЖТ» (Екатеринбург)

# 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

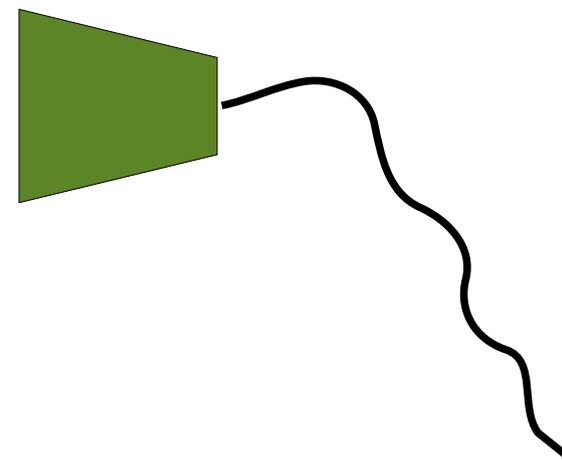
# 1. Понятие структурных искажений

# Компоненты формирования цифрового изображения



Сцена

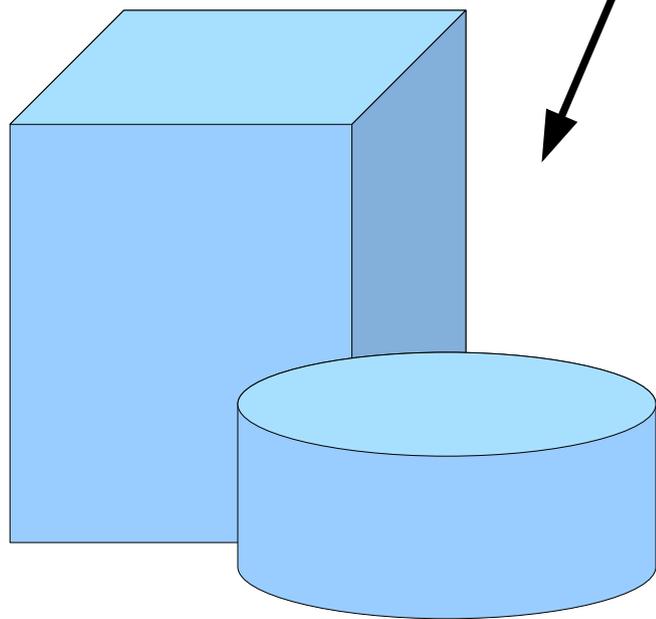
Среда



Камера

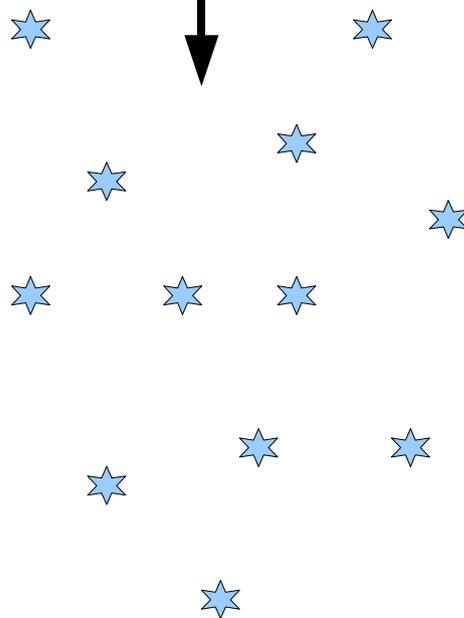
# Компоненты формирования цифрового изображения

## ИСТОЧНИКИ ИСКАЖЕНИЙ



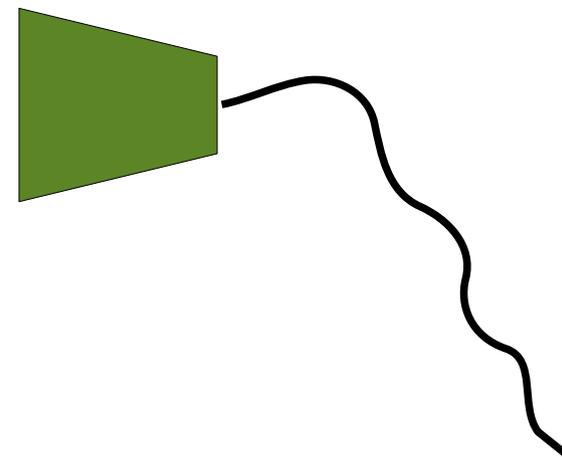
Сцена

Изменение цвета и формы объектов



Среда

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



Камера

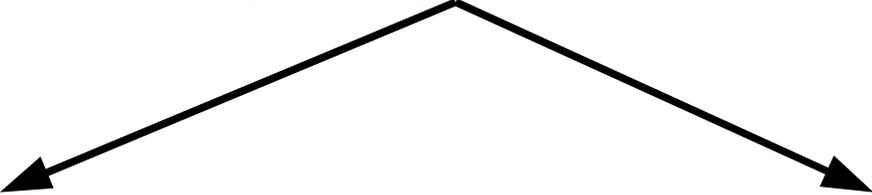
Дефокусировка,  
шумы АЦП.

# 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 “ $\geq$ ”
- 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

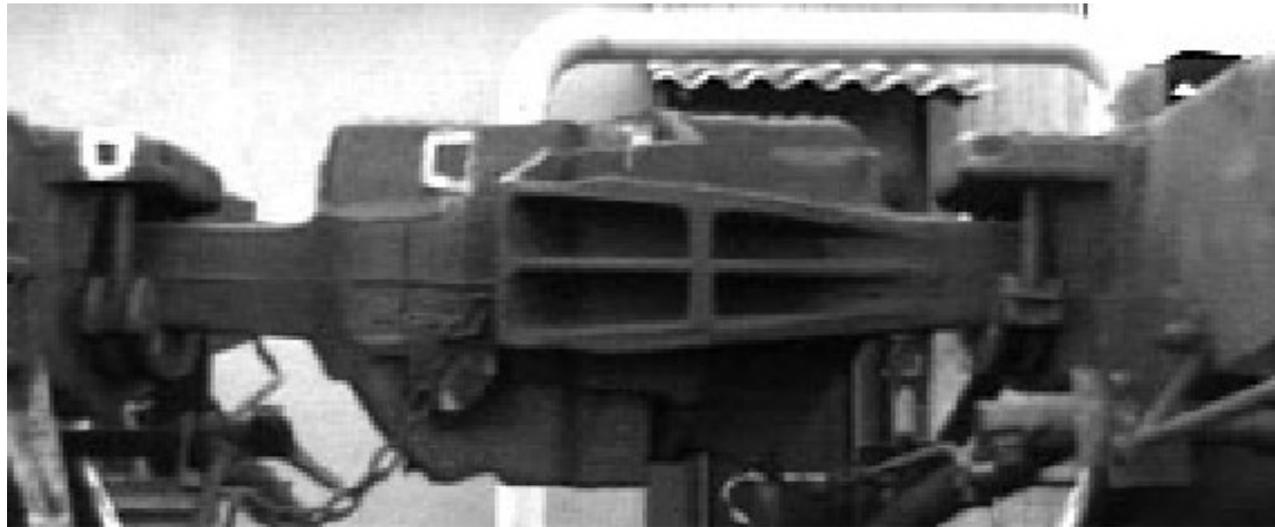
1. Рассчитать по эталонным изображениям среднюю матрицу сравнений.
2. Выбрать  $K$  пар пикселов  $(i_k, j_k)$ , где она принимает максимальное значение.

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

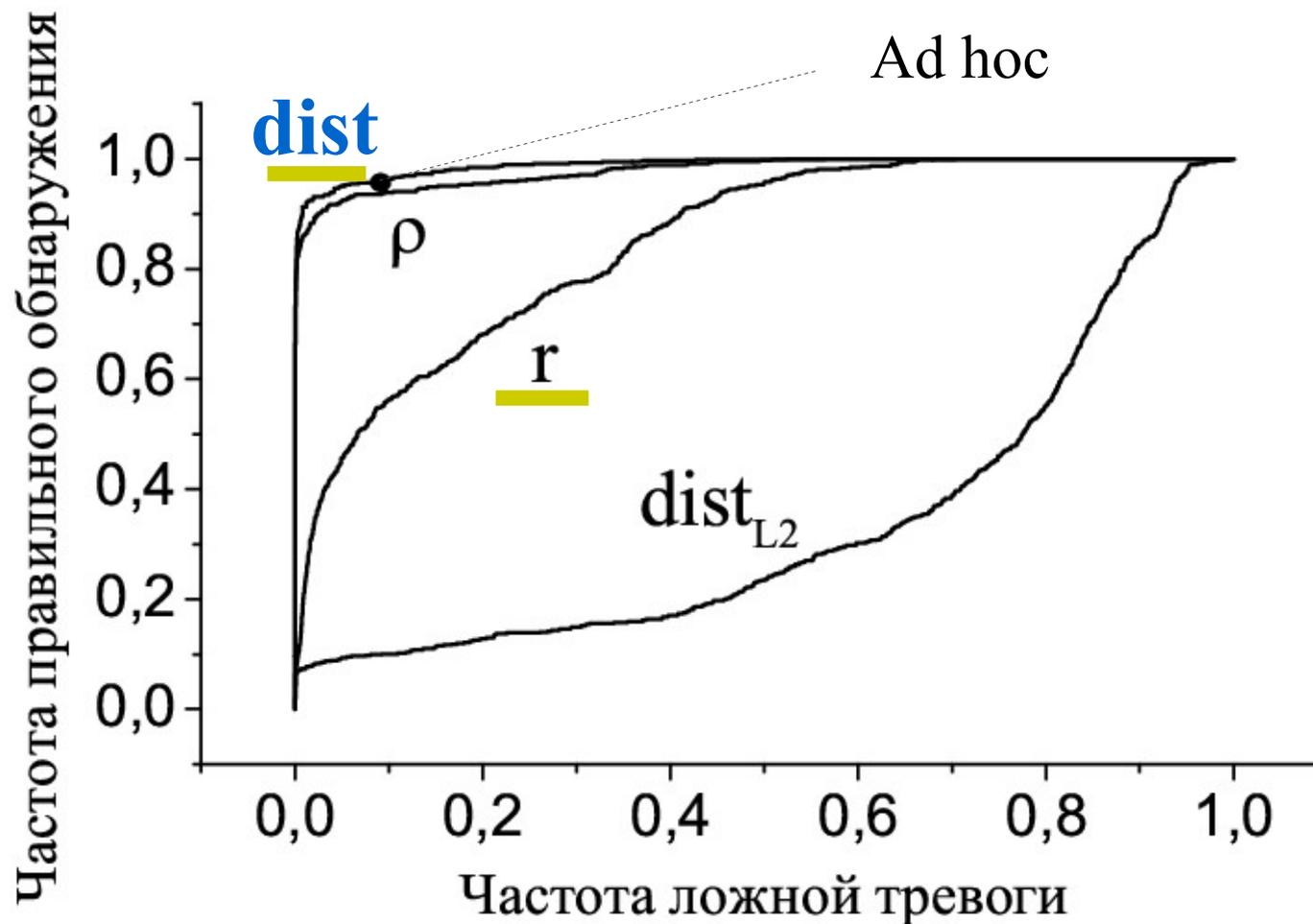
- Было взято **10** эталонов размером  $n = 24 \times 9 = 216$  пикселей.
- Было размечено **685** = 137 x 5 кадров с 137 сцепками под разными ракурсами, **23211** кадров без сцепок.
- С помощью эталонов, используя несколько критериев сопоставления с эталонами был проведен анализ качества алгоритмов.

# Используемые критерии

1. **dist**<sub>L<sub>2</sub></sub> — расстояние в метрике L<sub>2</sub> 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**<sub>L<sub>2</sub></sub> — 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

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

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

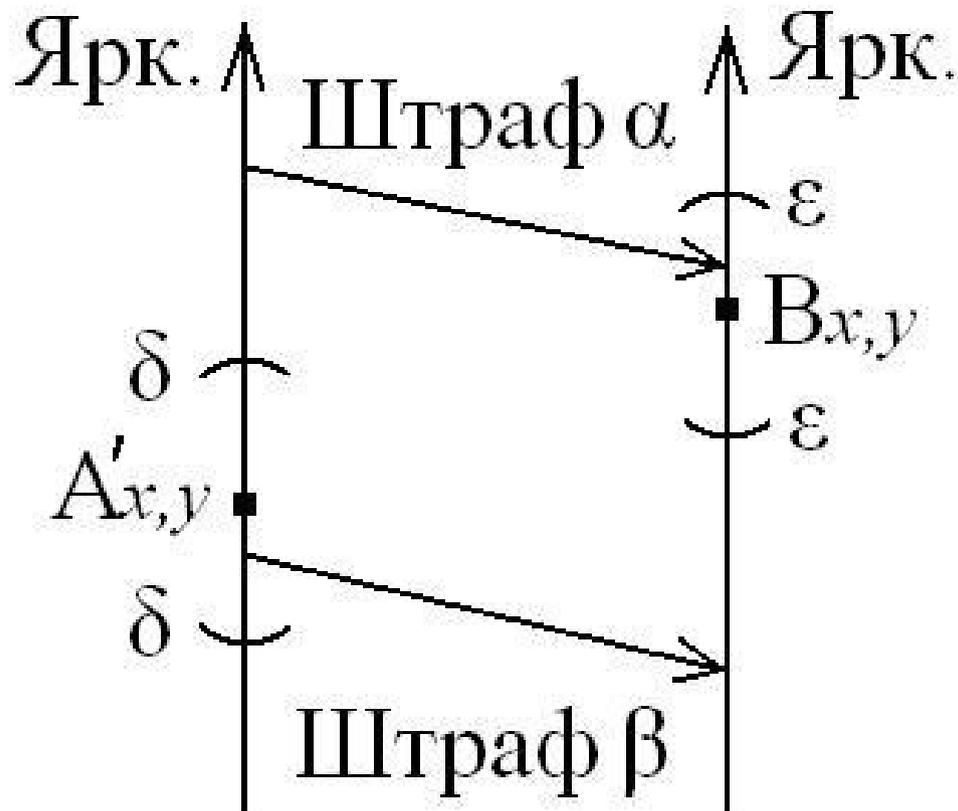
$$A_c = \{(x, y) : I_A(x, y) = c\}$$

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 ?

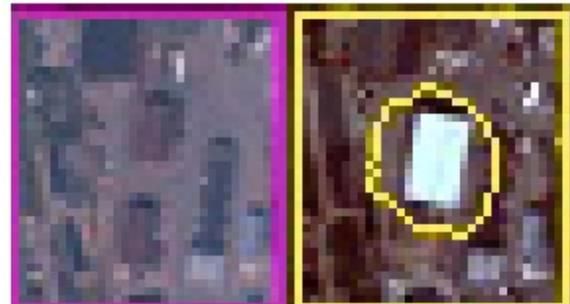
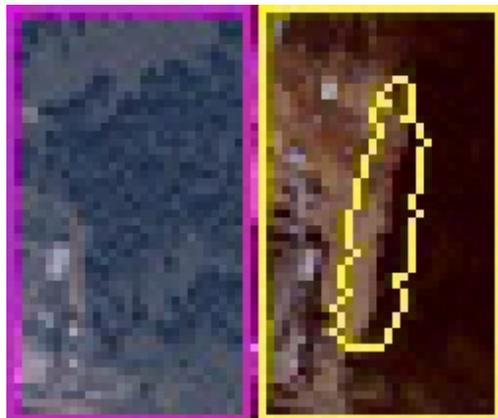
# Точная оценка изменений

## 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  $\alpha$  и  $\beta$ .

# 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.