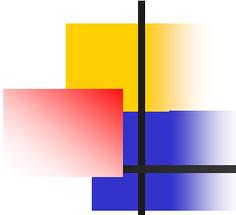


# Метрики оценки качества конвертированного стерео

---

Александр Боков

*Video Group*  
*CS MSU Graphics & Media Lab*



# Содержание

---

- **Введение**
- Примеры существующих no-reference метрик
- Стробление
- Локальные деформации
- Глобальные деформации
- Cardboard effect
- Заключение

# Введение

## Постановка задачи

Задача: объективно оценить качество конвертированного стерео

Артефакты конвертации:

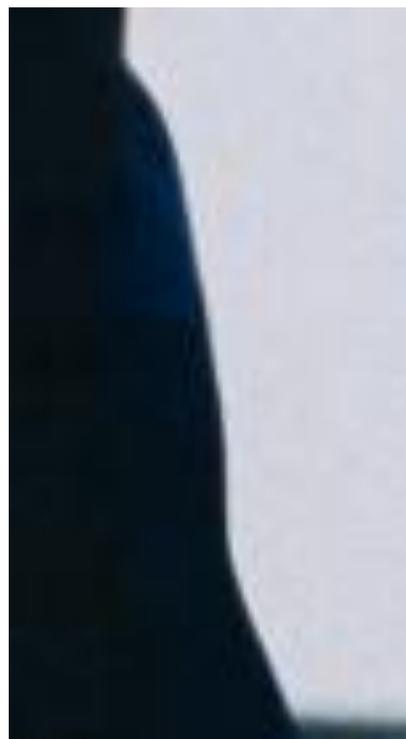
- Стробящие границы
- Геометрические деформации
- Cardboard effect
- Некачественное заполнение областей открытия

# Введение

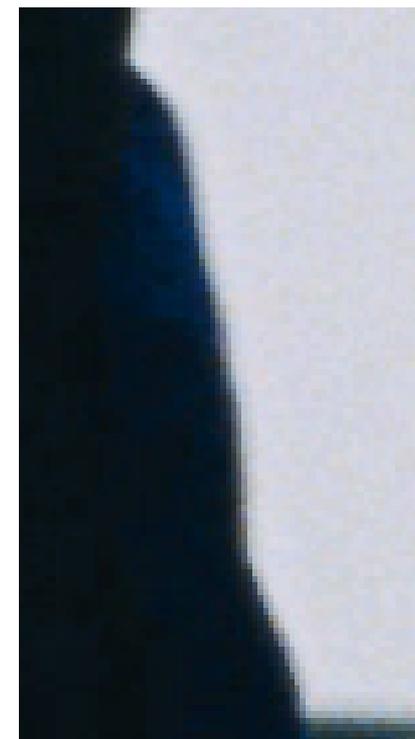
## Стробящие границы

Стробящие границы —  
границы, различающиеся  
по резкости

Основная причина  
возникновения:  
неточности границ  
на карте глубины,  
по которой строится  
стерео



Левый ракурс



Правый ракурс

# Введение

## Геометрические деформации

---

- Локальные деформации
  - «Приклеивание» части фона к объекту переднего плана
  - «Приклеивание» части объекта переднего плана к фону
- Глобальные деформации

# Введение

## Локальные деформации (1)



Левый ракурс

# Введение

## Локальные деформации (2)



Правый ракурс

# Введение

## Локальные деформации (3)



Левый ракурс

# Введение

## Локальные деформации (4)



Правый ракурс

# Введение

## Глобальные деформации (1)



Левый ракурс

# Введение

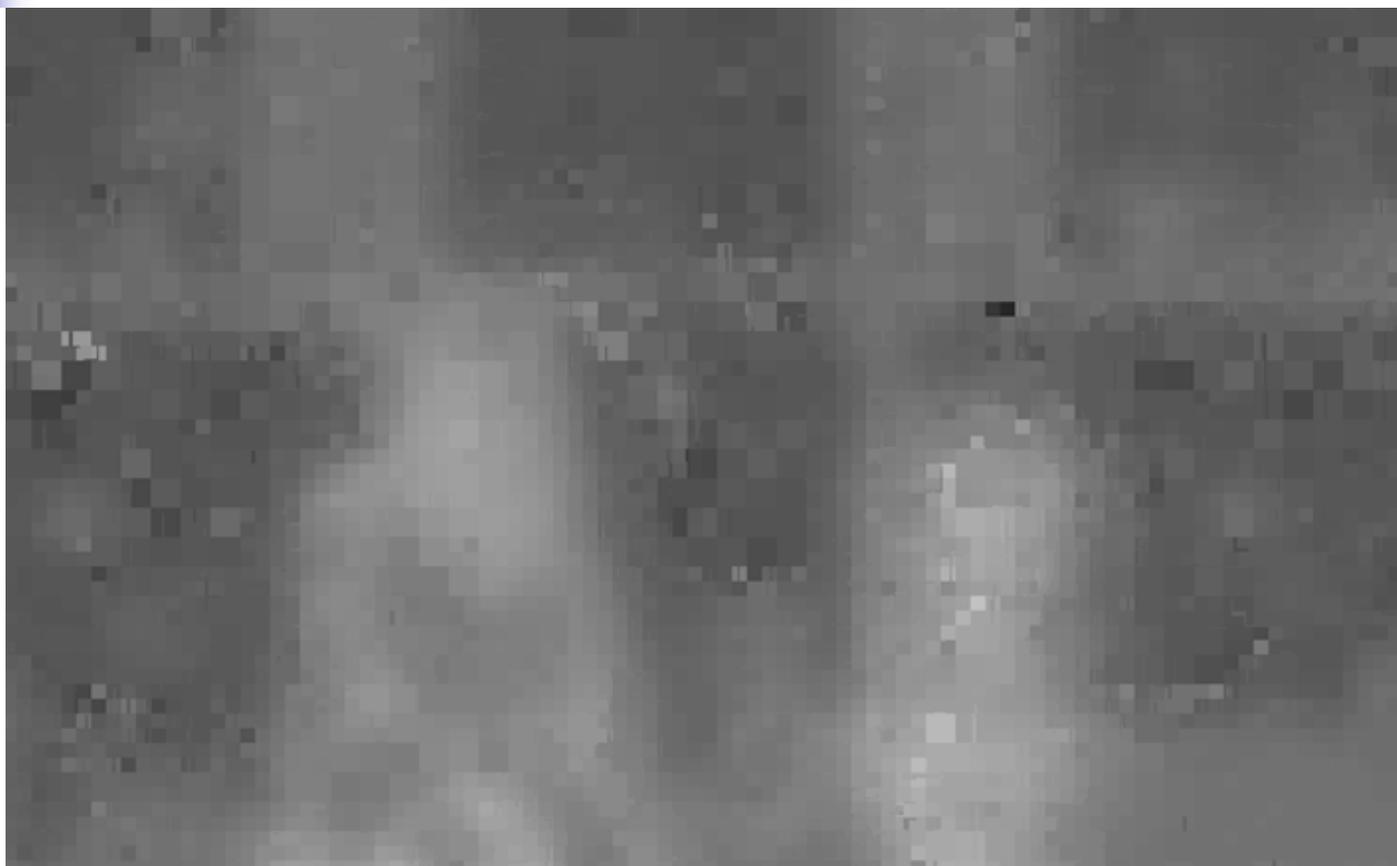
## Глобальные деформации (2)



Правый ракурс

# Введение

## Глобальные деформации (3)



Восстановленная карта глубины

# Введение

## Глобальные деформации (4)



Левый ракурс

# Введение

## Глобальные деформации (5)



Правый ракурс

# Введение

## Глобальные деформации (6)



Восстановленная карта глубины

# Введение

## Глобальные деформации (7)



Левый ракурс

# Введение

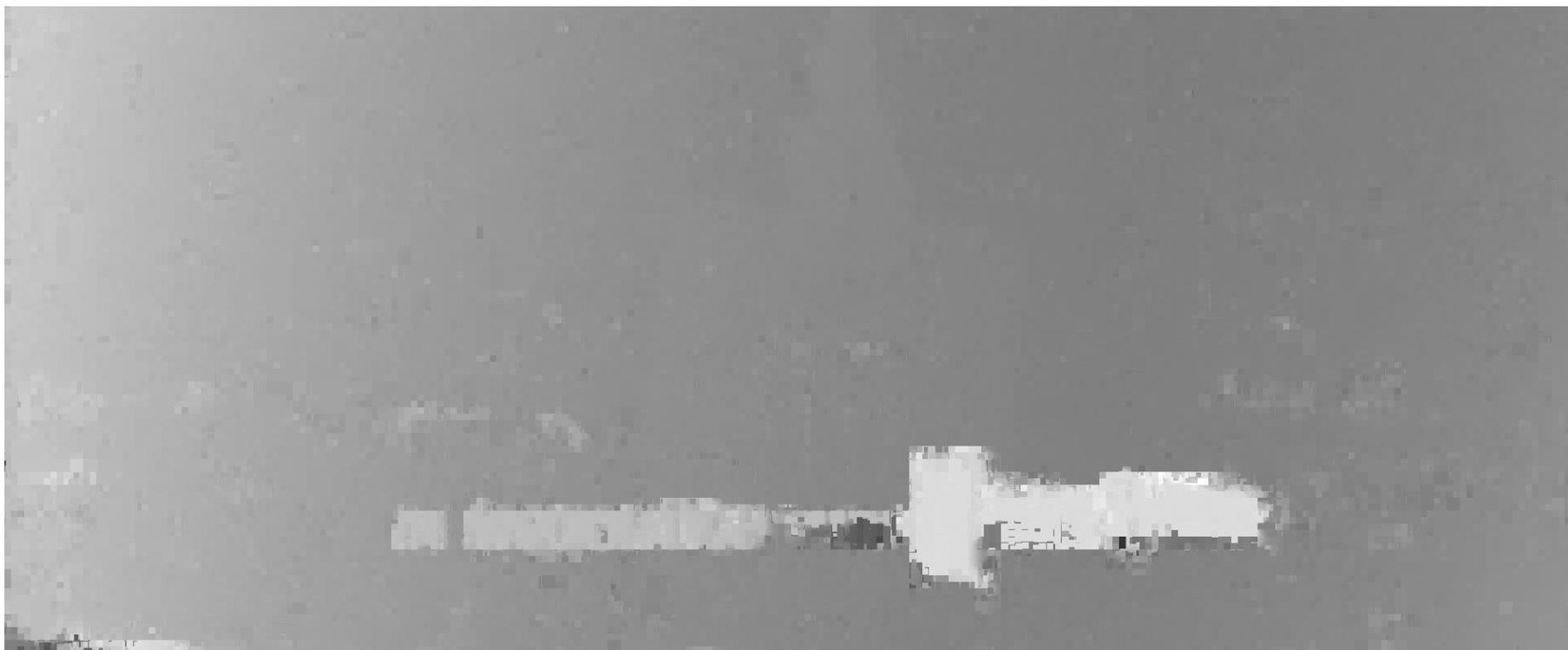
## Глобальные деформации (8)



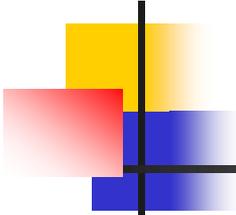
Правый ракурс

# Введение

## Глобальные деформации (9)



Восстановленная карта глубины



# Введение

## Cardboard Effect (1)

---

Два основных случая:

- Плоские объекты переднего плана (отсутствие рельефа и объема)
- Плоский/градиентный фон

# Примеры артефактов

## Cardboard Effect (2)



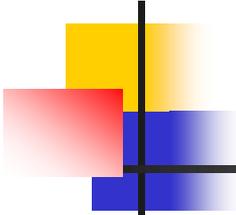
Левый ракурс

# Примеры артефактов

## Cardboard Effect (3)



Правый ракурс



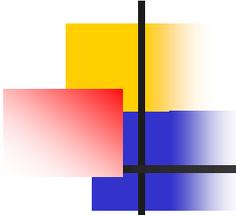
# Введение

## Cardboard Effect (4)

---



Восстановленная карта глубины



# Содержание

---

- Введение
- **Примеры существующих no-reference метрик**
- Стробление
- Локальные деформации
- Глобальные деформации
- Cardboard effect
- Заключение

# Ideal depth estimation

## Постановка задачи

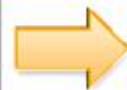
Входные данные:

- Исходный ракурс
- Карта глубины
- Синтезированный ракурс
- Используемые параметры DIBR (Depth Image Based Rendering)

Результат:

- Оценка качества синтезированного ракурса

# Ideal depth estimation



Исходный ракурс

Карта глубины



Исходный ракурс

Идеальная карта глубины

# Ideal depth estimation

## Предложенная метрика

Основная статистика:  $\Delta \mathbf{Z} = |\mathbf{Z}_{IDEAL} - \mathbf{Z}|$

$\mathbf{Z}$  — глубина, использованная для генерации ракурса

Вспомогательные метрики:

$$\mathbf{SO} = STD(\Delta \mathbf{Z})$$

$$\mathbf{TO} = STD(\Delta \mathbf{Z}_{t+1} - \Delta \mathbf{Z}_t) \quad STD \text{ — дисперсия}$$

$$\mathbf{TI} = STD(\mathbf{Z}_{t+1} - \mathbf{Z}_t)$$

Основная метрика:

$$\mathbf{NR-3VQM} = K(1 - \mathbf{SO}(\mathbf{SO} \cap \mathbf{TO}))^a (1 - \mathbf{TI})^b (1 - \mathbf{TO})^c$$

$K, a, b, c$  — экспериментально полученные коэффициенты

# Ideal depth estimation

## Выводы

### Проблемы:

- Необходимость карты глубины, по которой синтезировался ракурс
- Классификация артефактов отлична от нашей

# Stereo quality prediction

## Постановка задачи

Входные данные:

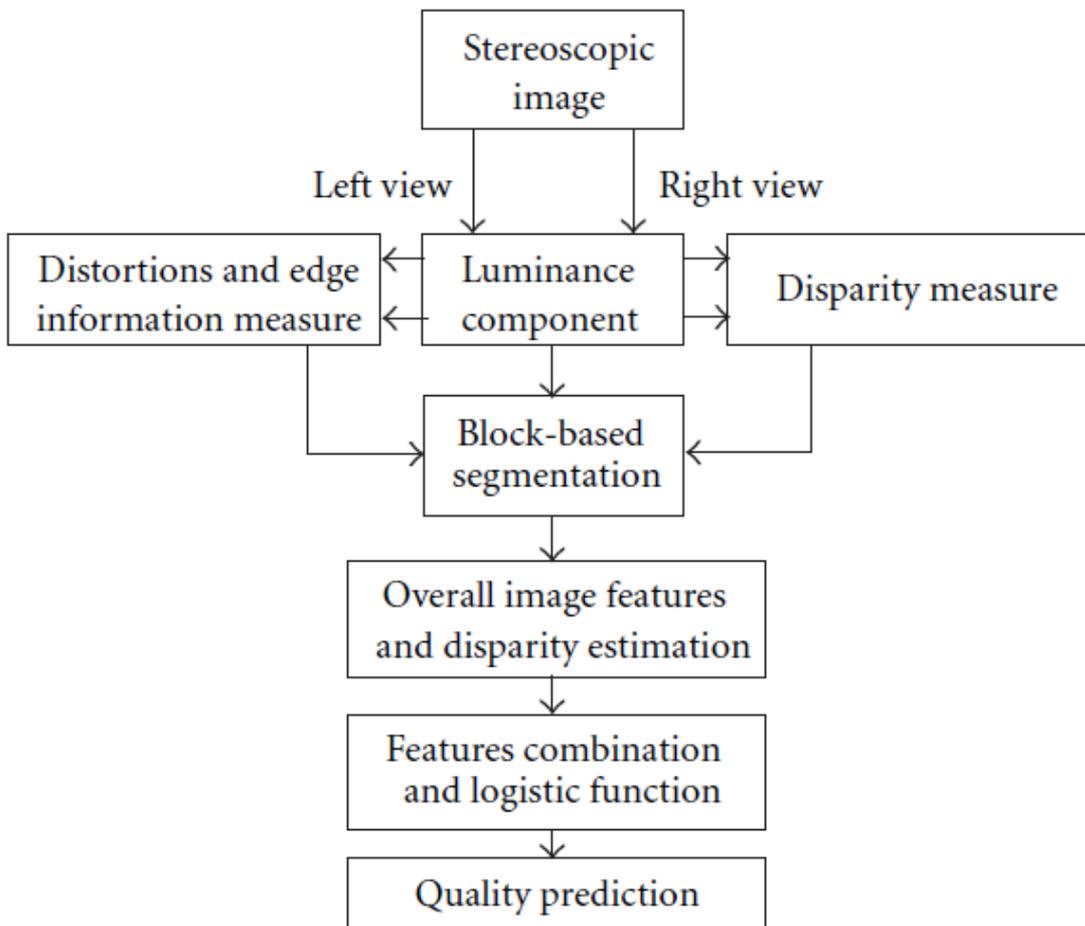
- Стереопара

Результат:

- Оценка качества стереопары

# Stereo quality prediction

## Схема алгоритма



# Stereo quality prediction

## Метрика блочности

$x(m, n)$ ,  $m \in [1, M]$ ,  $n \in [1, N]$  — изображение

$$d_h(m, n) = x(m, n + 1) - x(m, n)$$

$$B_{bh} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 |d_h(i, 8j)|$$

— горизонтальная компонента метрики

$B_{bv}$  — аналогично построенная вертикальная компонента

$$B_b = \frac{B_{bh} + B_{bv}}{2}$$

— финальная метрика

# Stereo quality prediction

## Метрика текстурированности

$$d_{h-mul}(m, n) = \text{sgn}(d_h(m, n)) * \text{sgn}(d_h(m, n + 1))$$

$$z_h(m, n) = \begin{cases} 1 & \text{if } d_{h-mul}(m, n) < 0, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

$$ZC_{bh} = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 z_h(i, j) \quad \text{— горизонтальная компонента метрики}$$

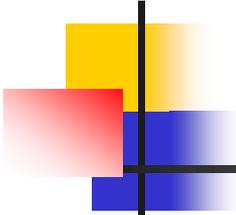
$$ZC_b = \frac{ZC_{bh} + ZC_{bv}}{2} \quad \text{— финальная метрика}$$

# Stereo quality prediction

## Выводы

Проблема:

- Метрика предназначена исключительно для оценки артефактов сжатия



# Содержание

---

- Введение
- Примеры существующих no-reference метрик
- **Стробление**
- Локальные деформации
- Глобальные деформации
- Cardboard effect
- Заключение

# Предложенная метрика

## Шаги алгоритма:

1. Выделение границ на обоих ракурсах (Canny)
2. Сопоставление границ на разных ракурсах с помощью карты диспаратета
3. Для каждой сопоставленной пары пикселей границ подсчет следующей метрики:

$$\left( \frac{\max(\nabla i_1, \nabla i_2)}{\min(\nabla i_1, \nabla i_2)} \right)^2 - 1$$

$\nabla i_1, \nabla i_2$  — градиенты на сопоставленных границах

4. Медианная фильтрация результатов метрики

# Предложенная метрика

## Проблемы:

- Смена фона около границы приводит к ложным срабатываниям
- Все опробованные методы измерения резкости границ оказались недостаточно устойчивыми к смене фона



Левый ракурс



Правый ракурс

# Предложенная метрика

## Пример работы (1)



Правый ракурс

# Предложенная метрика

## Пример работы (2)



Левый ракурс

# Предложенная метрика

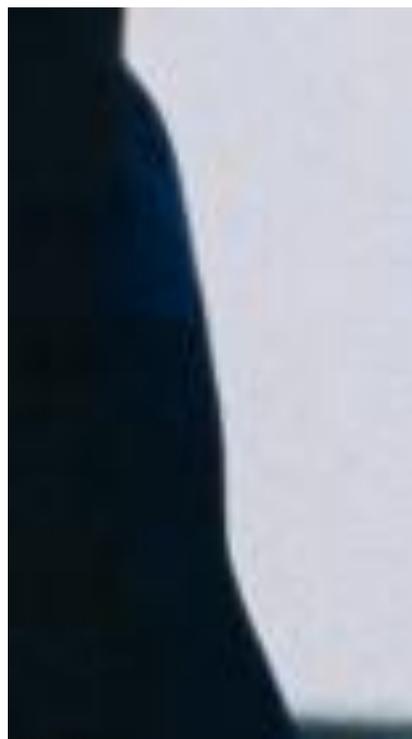
## Пример работы (3)



Визуализация метрики

# Предложенная метрика

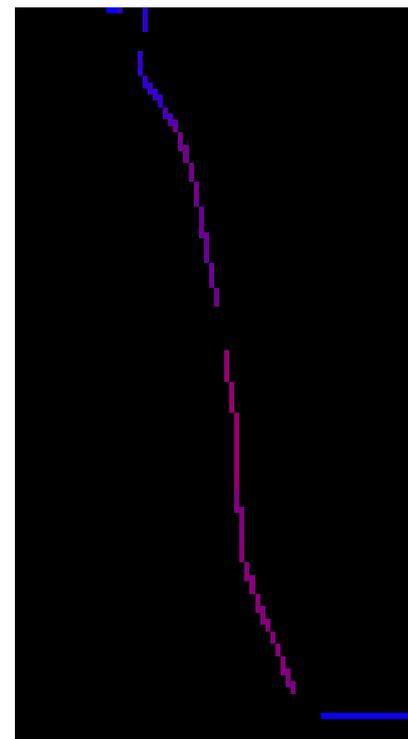
## Пример работы (4)



Левый ракурс



Правый ракурс



Визуализация  
метрики

# Модификация метрики (1)

## Шаги алгоритма:

1. Выделение границ на обоих ракурсах (Canny)
2. Сопоставление границ на разных ракурсах с помощью карты диспаратета
3. Выделение границ, около которых сменился фон, и исключение их из рассмотрения
4. Для каждой сопоставленной пары пикселей границ подсчет следующей метрики:

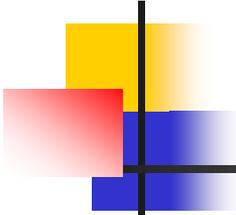
$$\left( \frac{\max(\nabla i_1, \nabla i_2)}{\min(\nabla i_1, \nabla i_2)} \right)^2 - 1$$

5. Медианная фильтрация результатов метрики

# Модификация метрики (2)

## Проблемы:

- Необходимость разработки метода детектирования смены фона около границы
- Исключение из рассмотрения случаев, когда стробление накладывается на смену фона около границы



# Содержание

---

- ...
- **Локальные деформации**
  - **Опробованные подходы**
  - Альтернативный подход
    - Разделение окрестности
    - Оценка деформаций
- Глобальные деформации
- Cardboard effect
- Заключение

# Опробованные подходы (1/2)

## Шаги алгоритма:

1. Выделение границ на обоих ракурсах (Canny)
2. Сопоставление границ на разных ракурсах с помощью карты диспаратета
3. Для каждой сопоставленной пары пикселей границ подсчет следующей метрики:

$$(angle(\nabla i_1, \nabla i_2))^2$$

$\nabla i_1, \nabla i_2$  — градиенты на сопоставленных границах

4. Медианная фильтрация результатов метрики

# Опробованные подходы (1/2)

## Пример работы (1)



Правый ракурс

# Опробованные подходы (1/2)

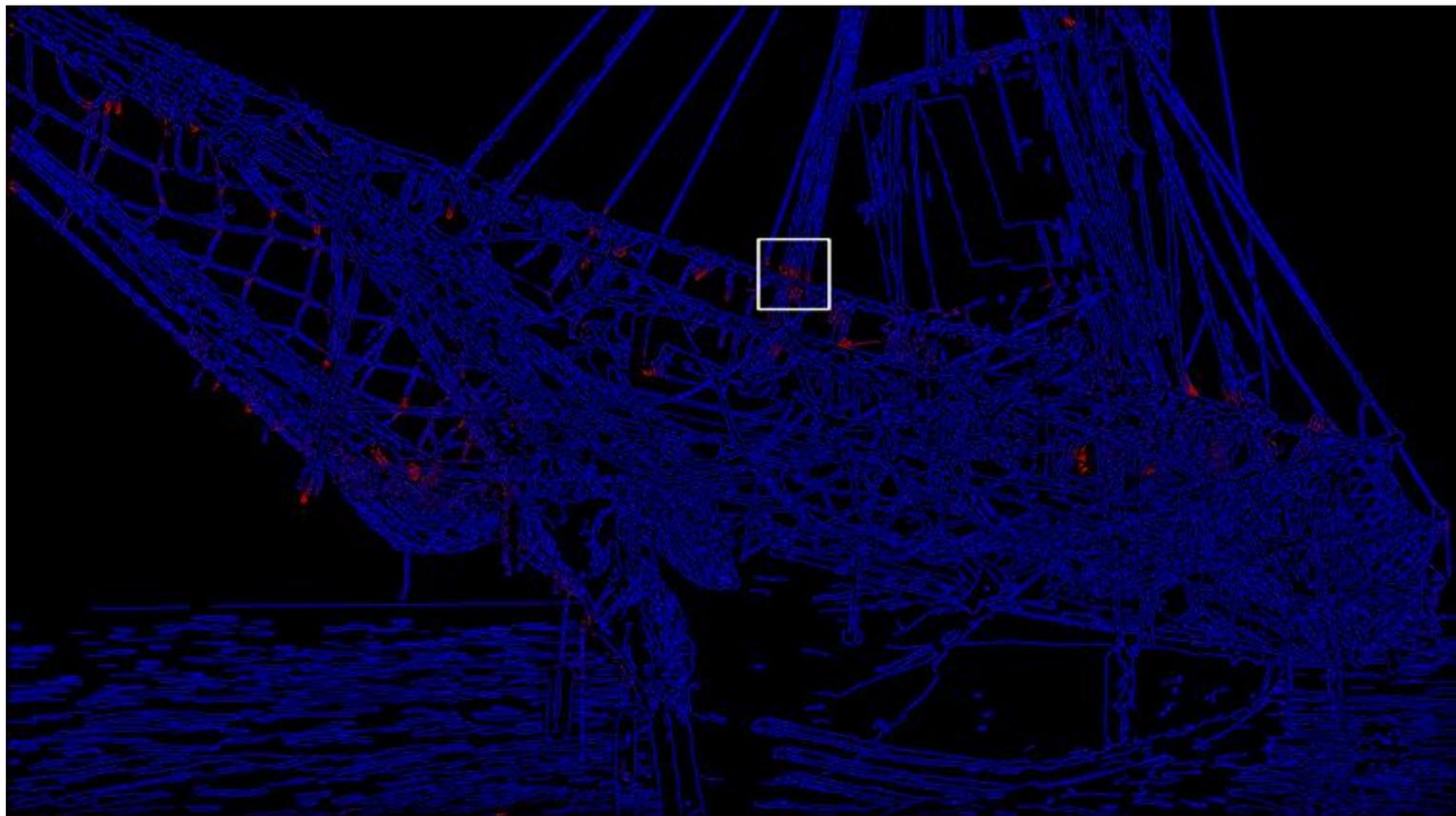
## Пример работы (2)



Левый ракурс

# Опробованные подходы (1/2)

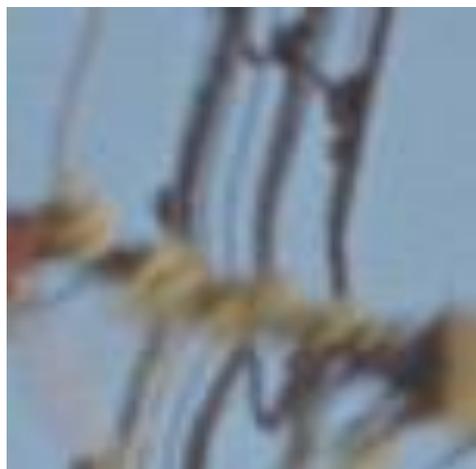
## Пример работы (3)



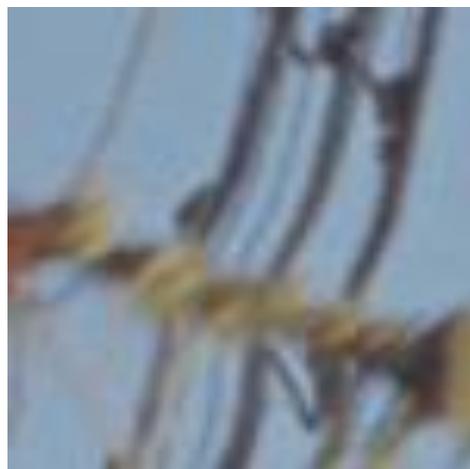
Визуализация метрики

# Опробованные подходы (1/2)

## Пример работы (4)



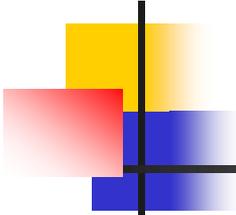
Левый ракурс



Правый ракурс



Визуализация  
метрики



## Опробованные подходы (1/2)

---

Проблема:

- Подход работает только в случаях существенного изгиба определенных границ

Решение:

- Анализ изменений в некоторых окрестностях сопоставленных пикселей границ

## Опробованные подходы (2/2)

### Шаги алгоритма:

1. Выделение границ на обоих ракурсах (Canny)
2. Сопоставление границ на разных ракурсах с помощью карты диспаратета
3. Для каждой сопоставленной пары пикселей границ подсчет следующей метрики:  $\rho(v_1, v_2)$

$$v_i = \left( \sum_{\Omega_i} \nabla_x, \sum_{\Omega_i} |\nabla_x|, \sum_{\Omega_i} \nabla_y, \sum_{\Omega_i} |\nabla_y| \right), i = 1, 2$$

$\Omega_1, \Omega_2$  — некоторые окрестности сопоставленных пикселей границ

## Опробованные подходы (2/2)

### Проблемы:

- Сложности с формированием нужных окрестностей
- Риск ложных срабатываний в случаях неточных окрестностей



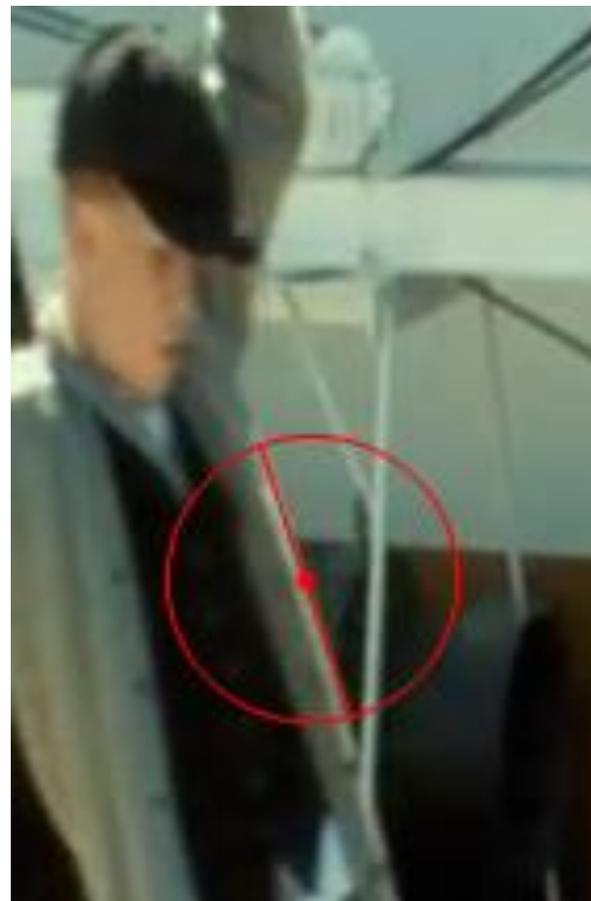
Левый ракурс

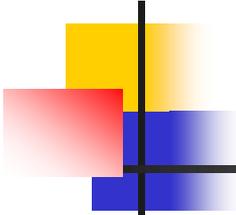


Правый ракурс

# Альтернативный подход

1. Разделение окрестности пикселя границы на несколько областей, рассматриваемых отдельно
2. Оценка деформаций для каждой из выделенных областей



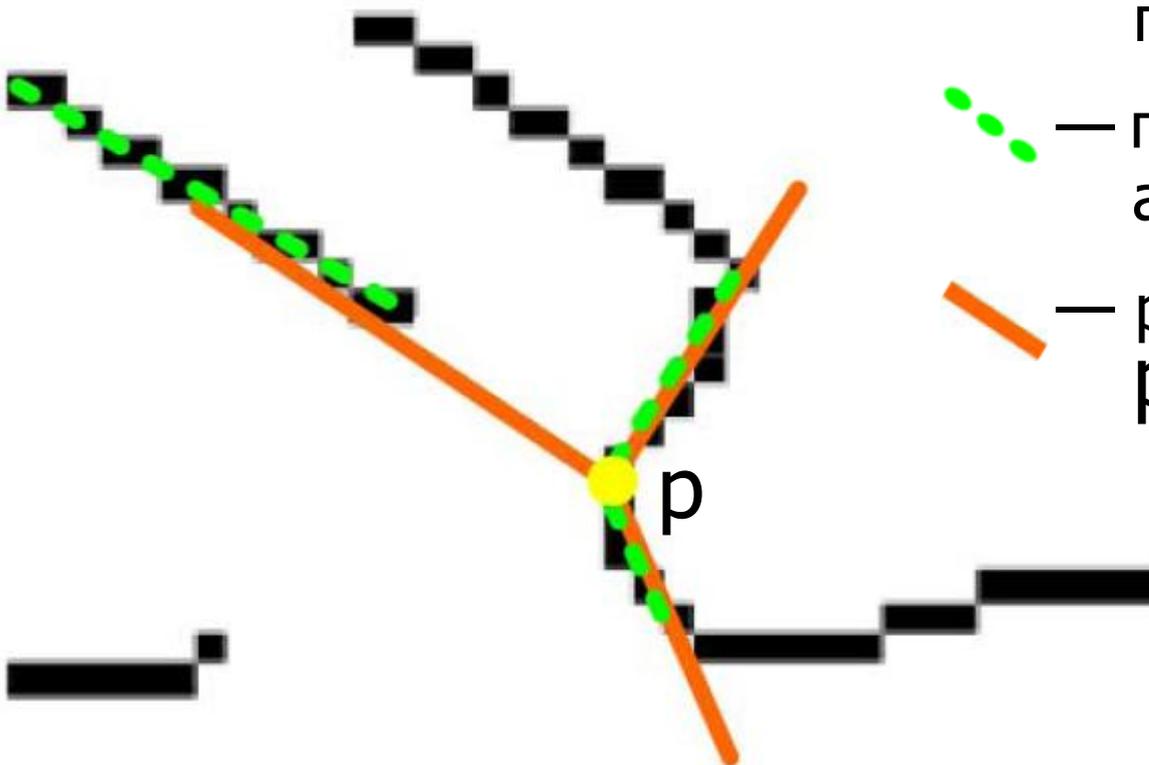


# Содержание

---

- ...
- **Локальные деформации**
  - Опробованные подходы
  - **Альтернативный подход**
    - **Разделение окрестности**
    - Оценка деформаций
- Глобальные деформации
- Cardboard effect
- Заключение

# Разделение окрестности



$p$  — рассматриваемый  
пиксель границы

 — прямые участки,  
ассоциированные с  $p$

 — разделение окрестности  
 $p$  на сектора

# Разделение окрестности

## Общая схема алгоритма

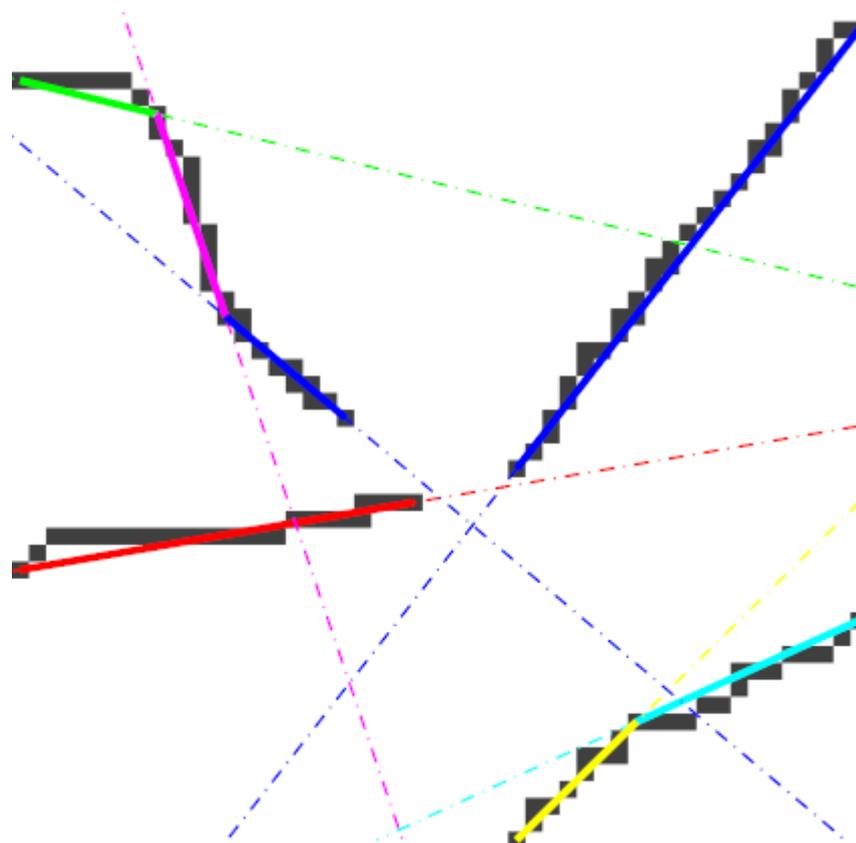
1. Выделение прямых участков границ в окрестности
2. Определение прямых участков, относящихся к рассматриваемому пикселю границы
3. Разделение окрестности на сектора

# Разделение окрестности

## Выделение прямых участков

Выделение прямых участков производится с помощью преобразования Хафа

**Преобразование Хафа** – известный метод выделения объектов на изображении, которые принадлежат определенному классу фигур



# Разделение окрестности

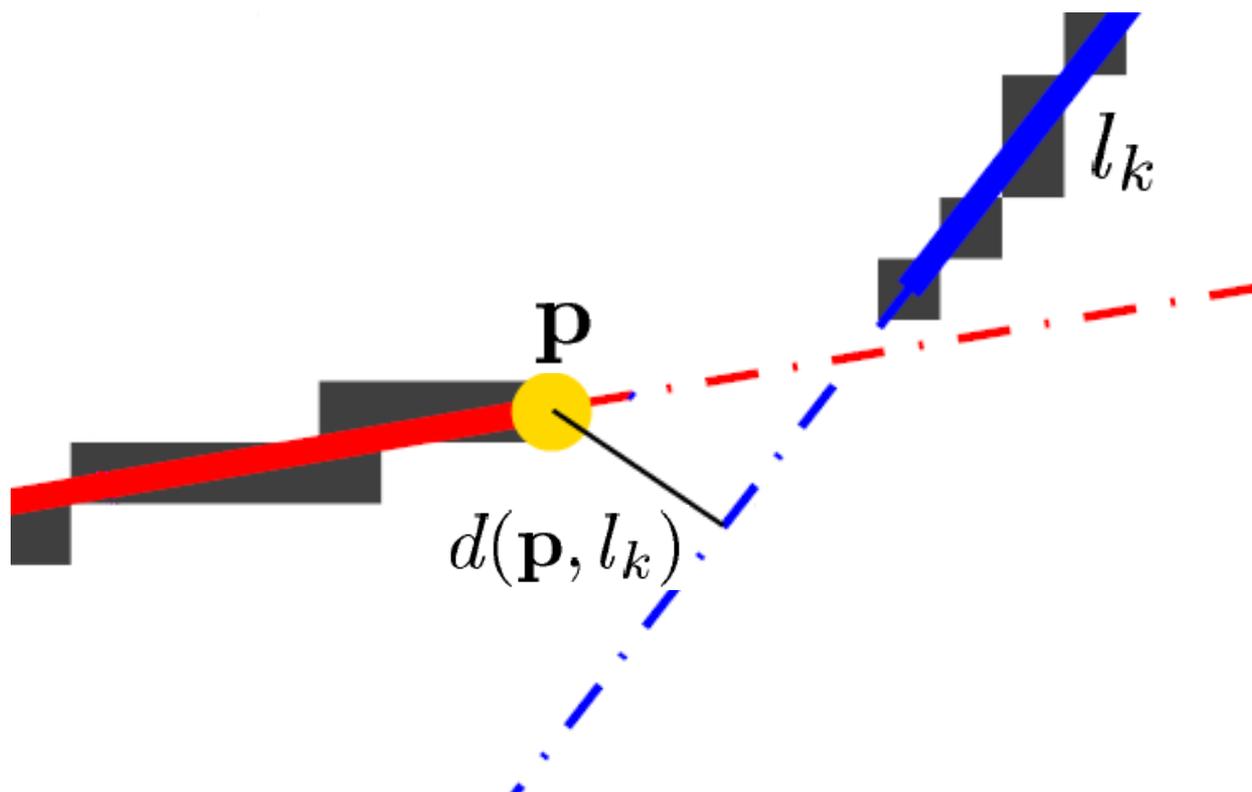
## Ассоциирование границ (1)

Шаги алгоритма:

- 1) Вычисление  $\text{Score}_k$  для каждого прямого участка
- 2) Выбор прямых участков, относящихся к рассматриваемому пикселю границы по порогу для  $\text{Score}_k$

# Разделение окрестности

## Ассоциирование границ (2)



# Разделение окрестности

## Ассоциирование границ (3)

$$\text{Score}_k = \sum_{\mathbf{x} \in l_k, \mathbf{x} \in W} G(\mathbf{x} - \mathbf{p}; \sigma) \cdot \exp(-d(\mathbf{p}, l_k)^2 / \varepsilon^2)$$

$\mathbf{p}$  — рассматриваемый пиксель границы

$W$  — рассматриваемая окрестность  $\mathbf{p}$

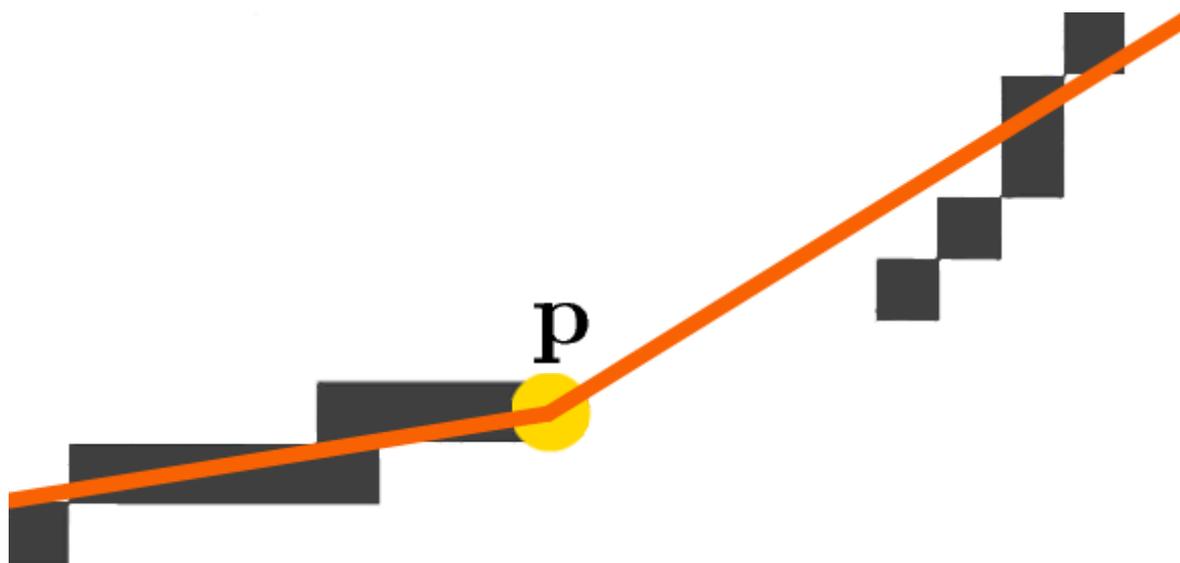
$l_k$  — рассматриваемый прямой участок границы

$G(\mathbf{x} - \mathbf{p}; \sigma)$  — гауссиана с центром в  $\mathbf{p}$

$d(\mathbf{p}, l_k)$  — расстояние между  $\mathbf{p}$  и прямой,  
содержащей  $l_k$

# Разделение окрестности

## Разделение на сектора (1)



# Разделение окрестности

## Разделение на сектора (2)

Шаги алгоритма:

- 1) Перебор выходящих из  $p$  лучей с некоторым шагом
- 2) Выбор тех лучей, которые соответствуют минимальным средним отклонениям от прямых участков, ассоциированных с  $p$

# Разделение окрестности

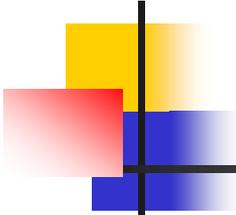
## Выводы

### Достоинства:

- Устойчивость к разрывам в границах
- Рассмотрение случаев перекрестков из границ

### Недостаток:

- Высокая вычислительная сложность



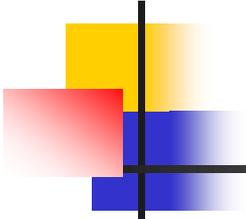
# Содержание

---

- ...
- **Локальные деформации**
  - Опробованные подходы
  - **Альтернативный подход**
    - Разделение окрестности
    - **Оценка деформаций**
- Глобальные деформации
- Cardboard effect
- Заключение

# Оценка деформаций

## Постановка задачи



A

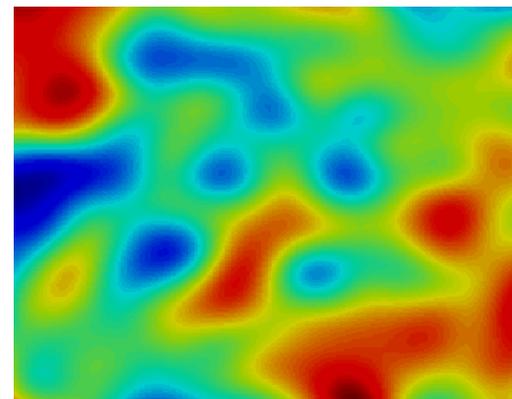
Исходное изображение

A

Деформированное  
изображение

$$W(\mathbf{x}, \mathbf{p}) = \mathbf{x} + B(\mathbf{x})\mathbf{p}$$

Модель деформаций



Векторное поле,  
переводящее  
деформированное  
изображение в исходное

# Оценка деформаций

## Общая схема алгоритма

1. Генерация тренировочных изображений с известными параметрами деформаций по исходному изображению
2. Вычисление параметров искомой деформации с использованием тренировочных изображений

# Оценка деформаций

## Модель деформаций (1)

$$W(\mathbf{x}, \mathbf{p}) = \mathbf{x} + B(\mathbf{x})\mathbf{p}$$

$B(\mathbf{x}) = [\mathbf{b}_1(\mathbf{x}), \dots, \mathbf{b}_d(\mathbf{x})]$  — базисные отображения

$\mathbf{p} \in \mathbf{R}^d$  — параметрический вектор

$\mathbf{x} \in \mathbf{R}^2$  — координаты пикселя изображения

$\{W(\mathbf{x}, \mathbf{p}) \mid \forall \mathbf{p} \in \mathbf{R}^d\}$  — множество всех возможных деформаций

# Оценка деформаций

## Модель деформаций (2)

$$G_F(T, \mathbf{p}) : I_p(W(\mathbf{x}, \mathbf{p})) = T(\mathbf{x})$$

$$G_B(T, \mathbf{p}) : I_p(\mathbf{x}) = T(W(\mathbf{x}, \mathbf{p}))$$

$T(\mathbf{x})$  — исходное изображение

$I_p(\mathbf{x})$  — изображение, деформированное с параметрами  $\mathbf{p}$

$G_F(T, \mathbf{p}), G_B(T, \mathbf{p})$  — прямое и обратное применения отображения  $W(\mathbf{x}, \mathbf{p})$

# Оценка деформаций

## Модель деформаций (3)

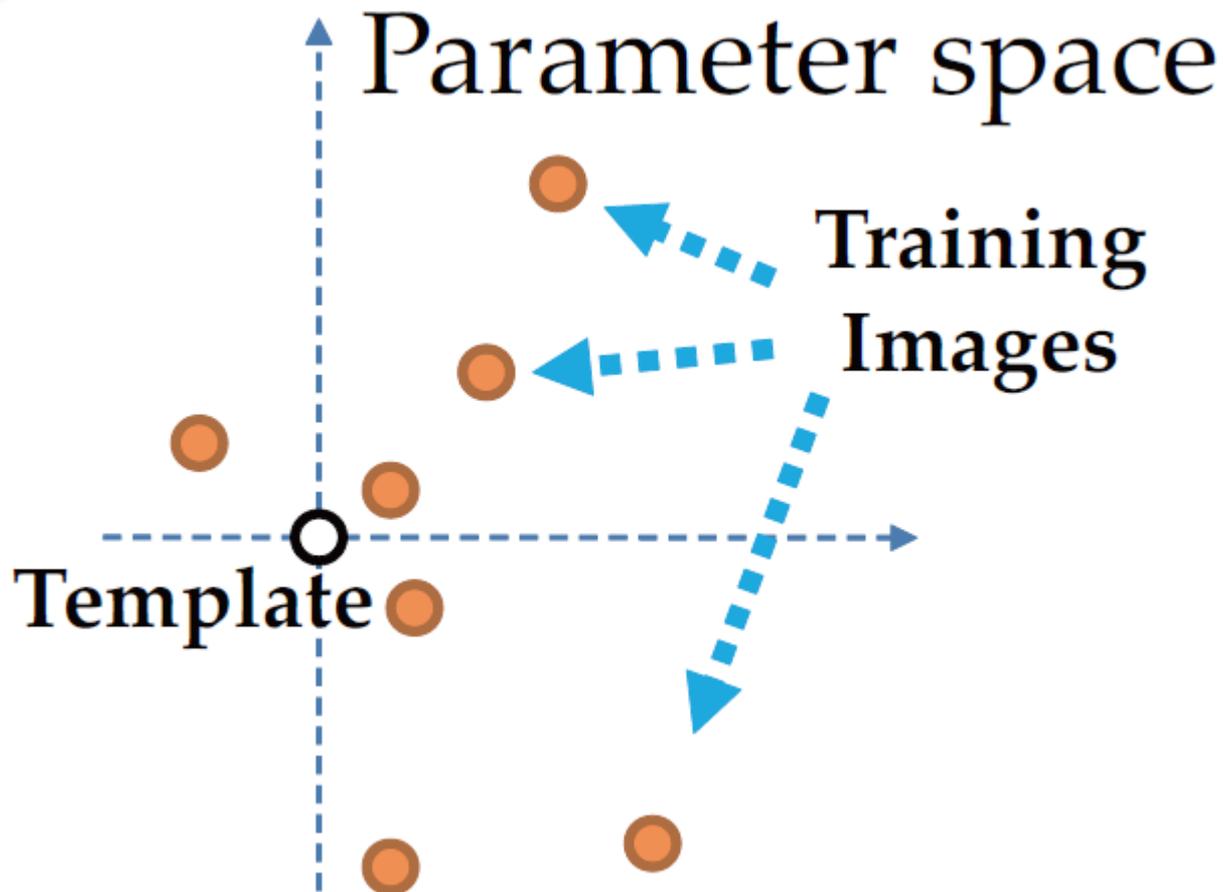
$\mathcal{I} = \{ I_{\mathbf{p}} = G(T, \mathbf{p}) \mid \forall \mathbf{p} \in \mathbb{R}^d \}$  — множество всех возможных деформированных изображений

$G(T, \mathbf{p})$  — прямое или обратное применение  $W(\mathbf{x}, \mathbf{p})$

$T = I_0 = G(T, 0)$  — исходное изображение находится в начале координат параметрического пространства

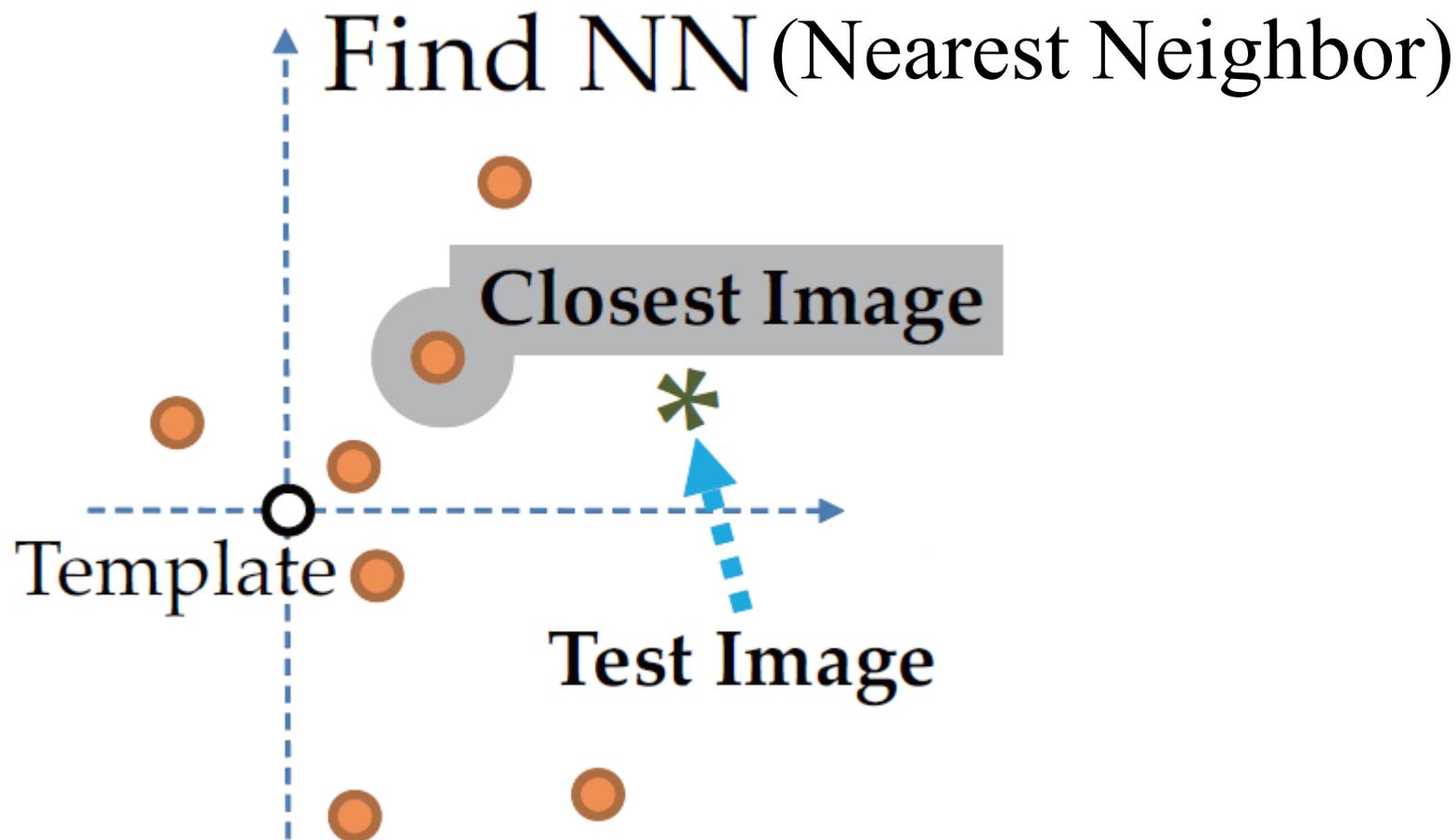
# Оценка деформаций

## Шаги алгоритма (1)



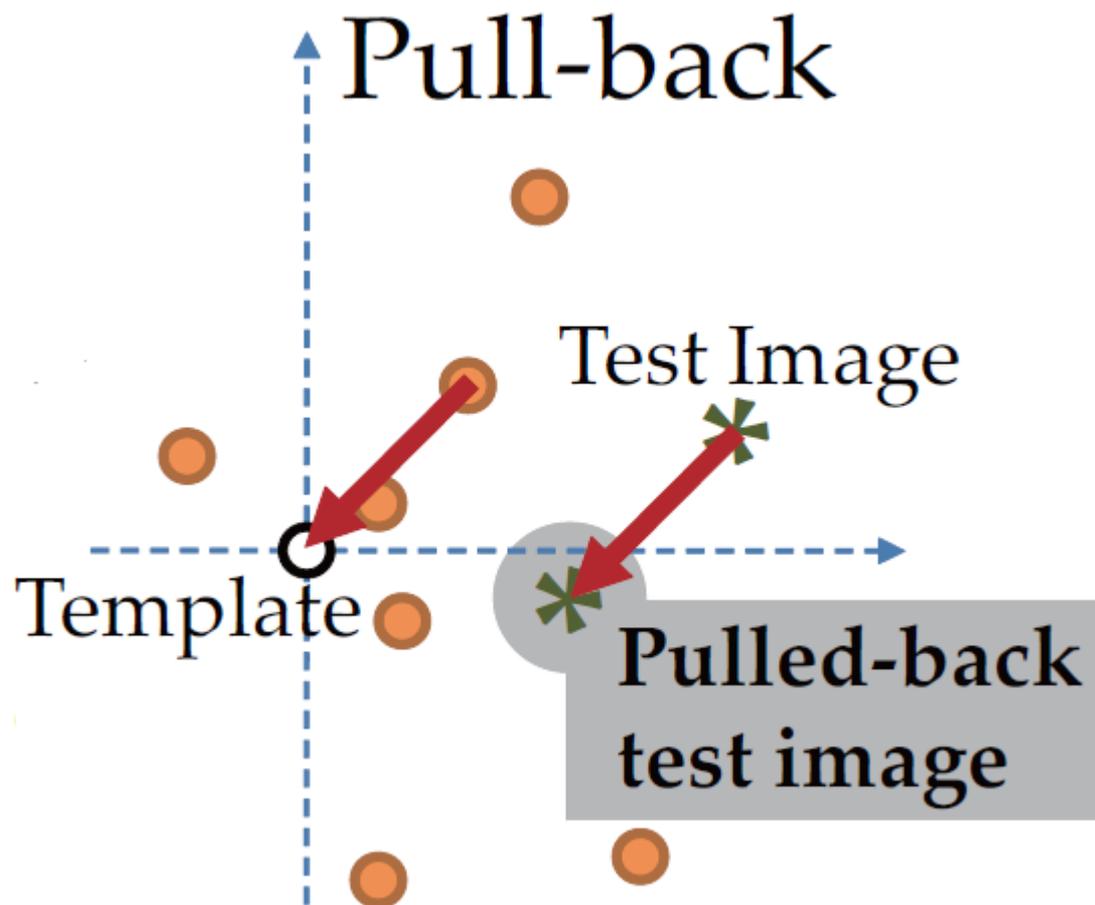
# Оценка деформаций

## Шаги алгоритма (2)



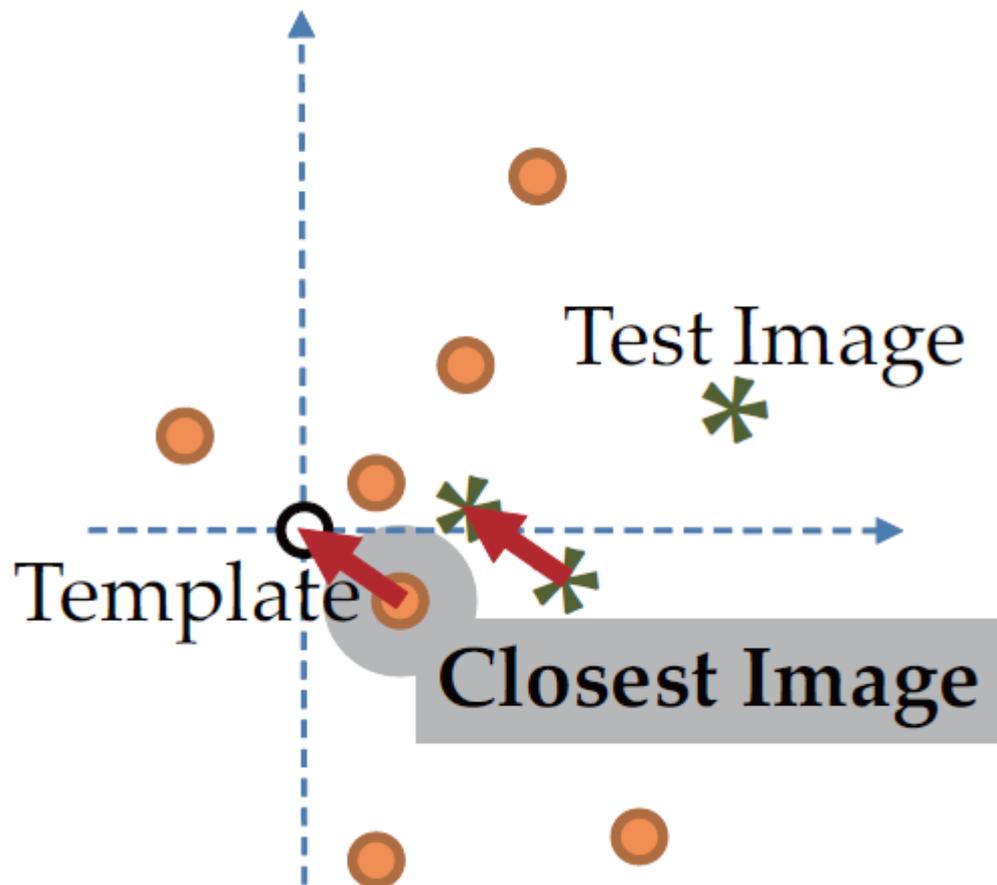
# Оценка деформаций

## Шаги алгоритма (3)



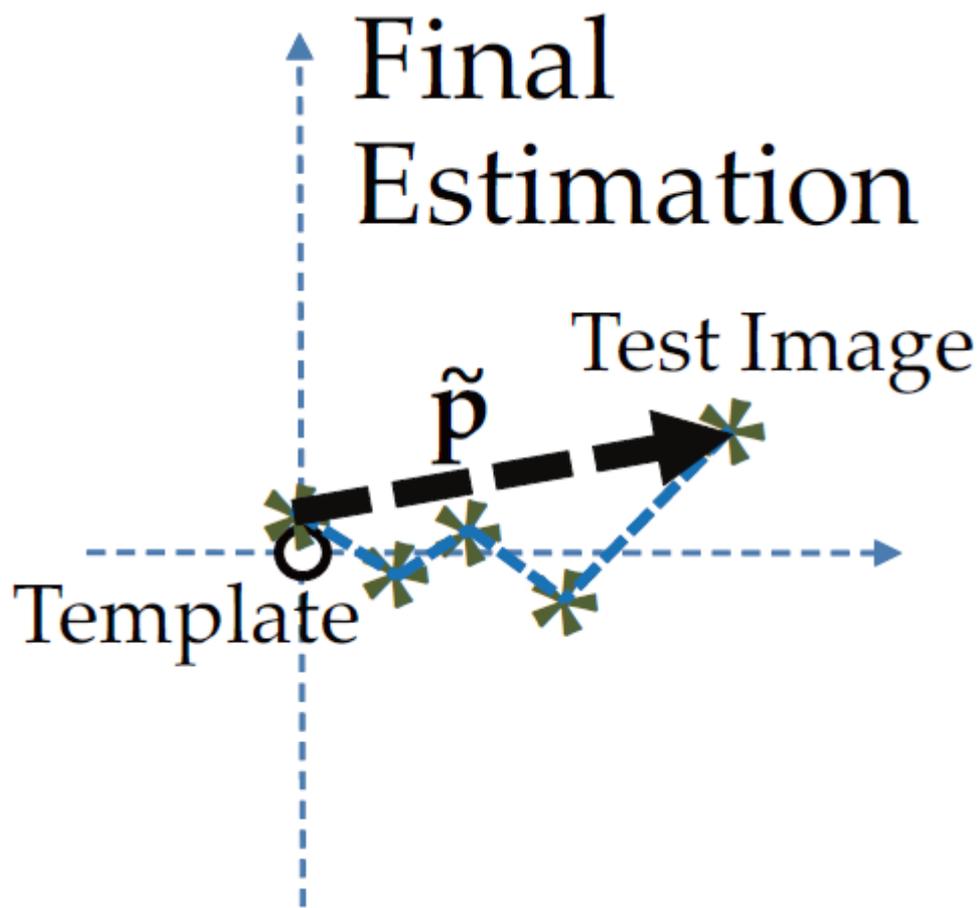
# Оценка деформаций

## Шаги алгоритма (4)



# Оценка деформаций

## Шаги алгоритма (5)



# Оценка деформаций

## Генерация training images (1)

### Parameter space

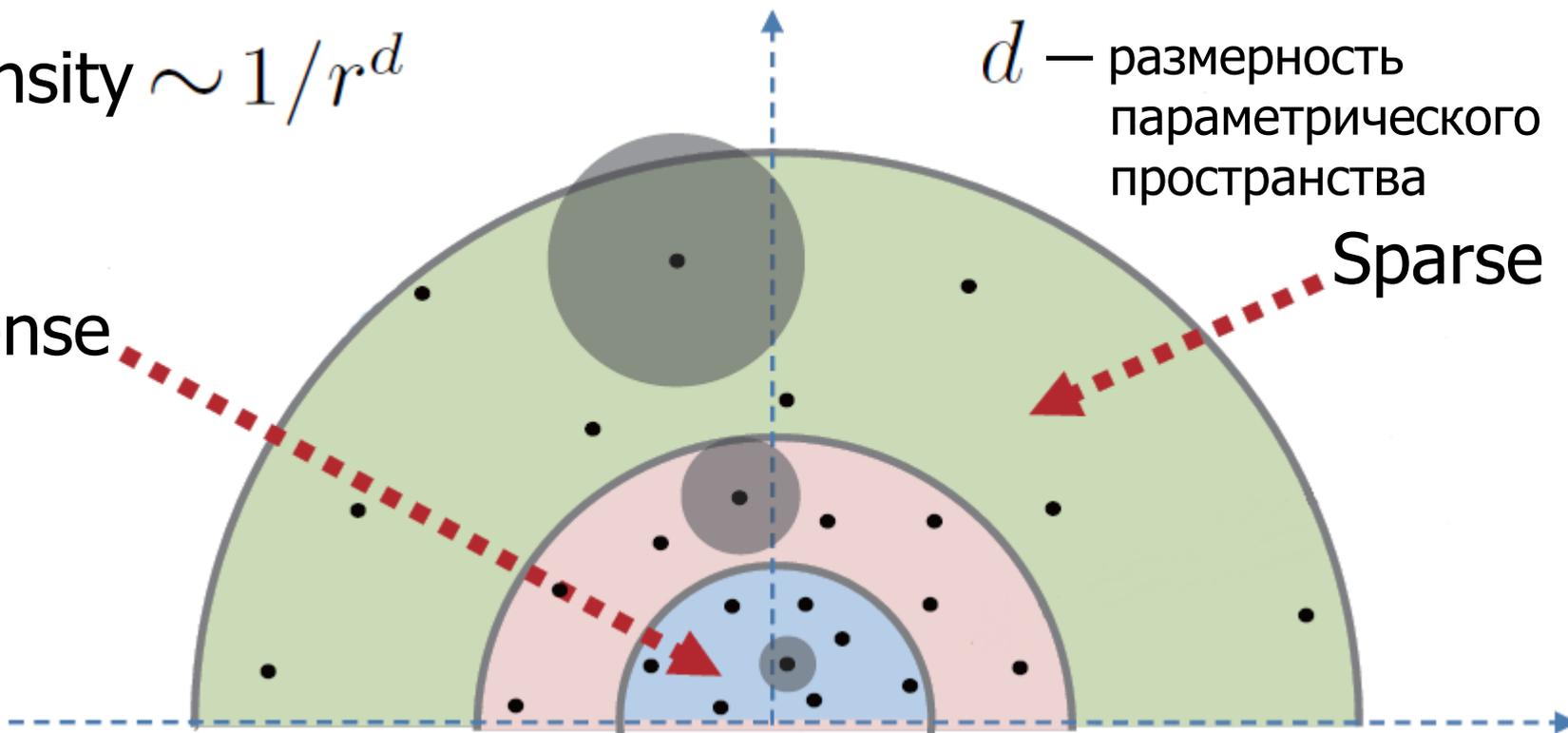
$$\text{Density} \sim 1/r^d$$

$r$  — расстояние до центра координат

$d$  — размерность параметрического пространства

Dense

Sparse



# Оценка деформаций

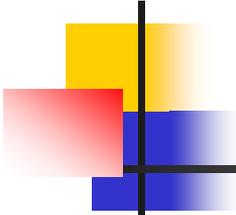
## Выводы

### Достоинство:

- Гарантируется достижение глобально оптимального решения

### Недостатки:

- Необходимость задания модели деформаций
- Низкая скорость работы



# Содержание

---

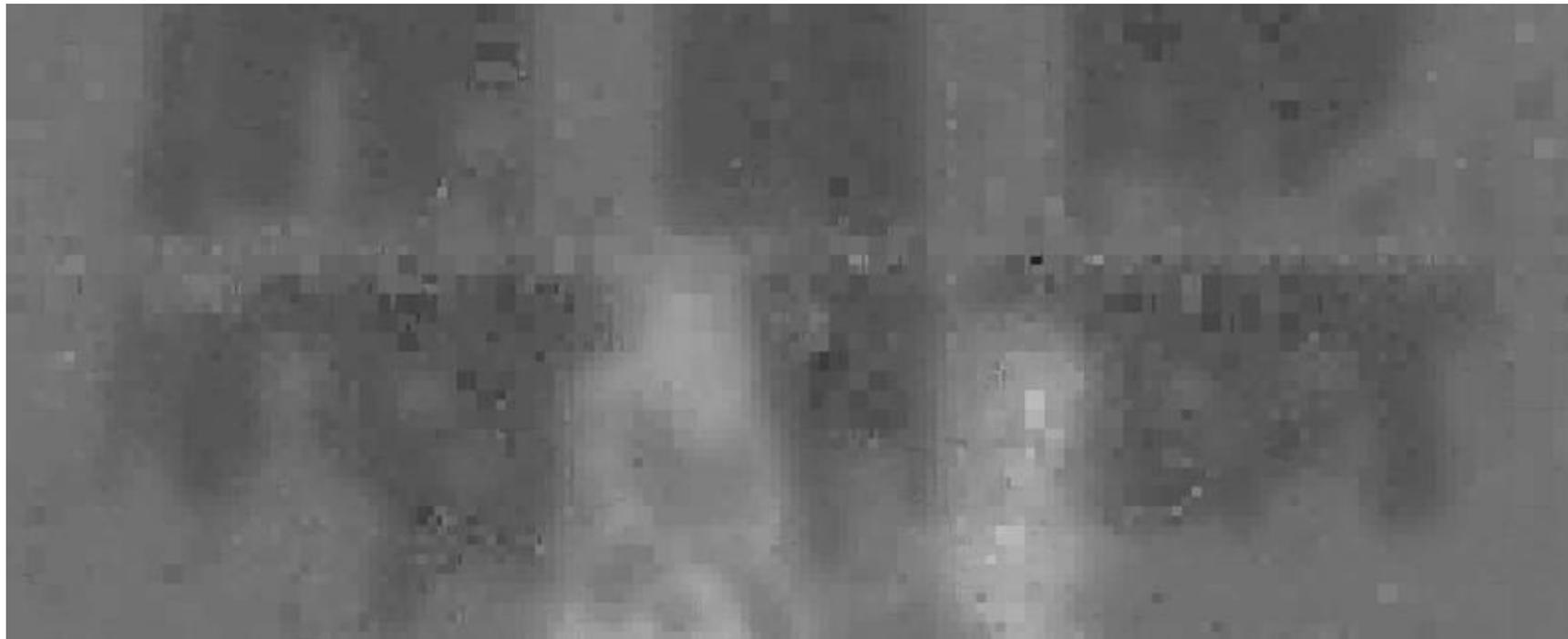
- Введение
- Примеры существующих no-reference метрик
- Стробление
- Локальные деформации
- **Глобальные деформации**
- Cardboard effect
- Заключение

# Оценка резкости границ на карте диспаритета (1)



Кадр с глобальными деформациями

# Оценка резкости границ на карте диспаритета (2)



Карта диспаритета кадра с глобальными  
деформациями

# Оценка резкости границ на карте диспаритета (3)



Кадр без глобальных деформаций

# Оценка резкости границ на карте диспаритета (4)



Карта диспаритета кадра без глобальных деформаций

# Оценка резкости границ на карте диспаратета (5)



Шаги алгоритма:

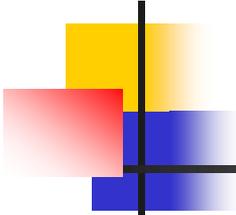
1. Выделение границ на карте диспаратета (Canny)
2. Оценка резкости выделенных границ
3. Суммирование значений резкости по всем пикселям границ
4. Выделение плохих кадров по порогу суммарной резкости границ

# Оценка резкости границ на карте диспаратета (6)



Проблемы:

- Шум и блочность карты диспаратета усложняют детектирование границ и оценку их резкости
- Стандартные методы оценки резкости границ не работают в случае границ на градиентах по глубине



# Содержание

---

- Введение
- Примеры существующих no-reference метрик
- Стробление
- Локальные деформации
- Глобальные деформации
- **Cardboard effect**
- Заключение

# Подход на основе сегментации (1)



Шаги алгоритма:

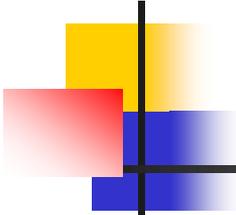
1. Проводим сегментацию по движению
2. Для каждого сегмента, кроме фона, оцениваем дисперсию градиентов глубины
3. По порогу дисперсии выделяем сегменты с подозрением на cardboard effect

# Подход на основе сегментации (2)



Проблема:

- Недостаточное качество сегментации по движению



# Содержание

---

- Введение
- Примеры существующих no-reference метрик
- Стробление
- Локальные деформации
- Глобальные деформации
- Cardboard effect
- **Заключение**

# Стробящие границы

## Текущая метрика



Правый ракурс



Левый ракурс



Визуализация  
метрики

# Стробящие границы

## Планы

- Реализовать детектирование смены фона возле границы для уменьшения числа ложных срабатываний текущей метрики

# Локальные деформации

## Текущая метрика (1)



Левый ракурс

# Локальные деформации

## Текущая метрика (2)



Правый ракурс

# Локальные деформации

## Текущая метрика (3)



Визуализация метрики

# Локальные деформации

## Планы

- Улучшить детектирование изгиба границы, учитывая не только сопоставленную пару пикселей границ, но и их соседей, принадлежащих той же границе
- Реализовать описанный выше подход для детектирования деформаций возле сопоставленных границ

# Глобальные деформации

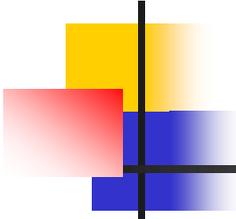
## Планы

- Опробовать методы, основанные на сравнении вида диспаратета и характера движения в кадре

# Cardboard effect

## Планы

- Реализовать подход, основанный на выделении областей с одинаковой/градиентной глубиной и оценке характера движения в этих областях



# Литература

---

1. M. Solh and G. AlRegib, "A No-reference Quality Measure for DIBR-Based 3D Videos," *IEEE International Workshop on Hot Topics in 3D*, Barcelona, July 2011.
2. Z.M. Sazzad, R. Akhter, J. Baltes, Y. Horita, "Objective No-Reference Stereoscopic Image Quality Prediction Based on 2D Image Features and Relative Disparity," *Advances in Multimedia*, 2012.
3. Y. Tian and S. G. Narasimhan, "A globally optimal data-driven approach for image distortion estimation," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Francisco, June 2010, pp. 1277–1284.
4. C. Cui and K.N. Ngan, "Scale- and Affine-Invariant Fan Feature," *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011.

# Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа



Видеогруппа — это:

- Выпускники в аспирантурах Англии, Франции, Швейцарии (в России в МГУ и ИПМ им. Келдыша)
- Выпускниками защищено 5 диссертаций
- Наиболее популярные в мире сравнения видеокодеков
- Более 3 миллионов скачанных фильтров обработки видео