

Вычисление глубины

по одному изображению

Дмитрий Акимов

Video Group

CS MSU Graphics & Media Lab



Содержание

- **Введение**
- Comfortable depth generation
- Focused object segmentation
- Depth from defocus
- Собственные наработки
- Заключение

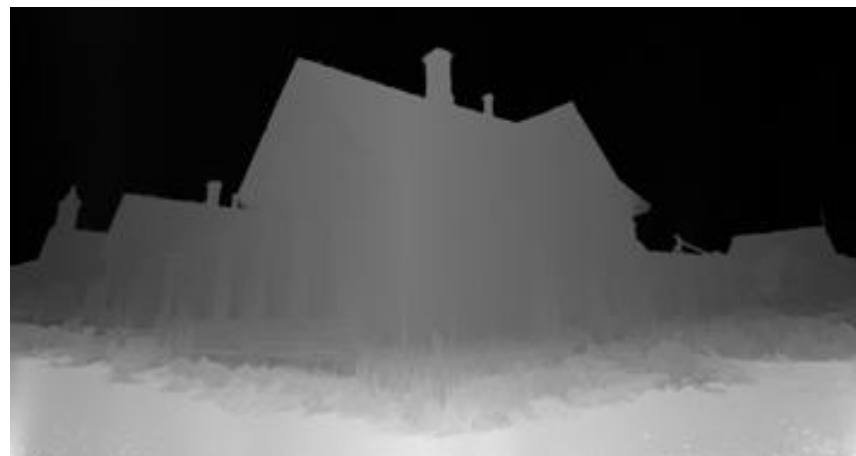
Введение

Карты глубин

- Сопоставляем каждой точке изображения «глубину» – удаленность реальной точки в пространстве
- Карты глубин:
 - Реальное значение (true depth)
 - Комфортные для зрителя (comfortable depth)



Исходное изображение



Автоматически полученная
карта глубины

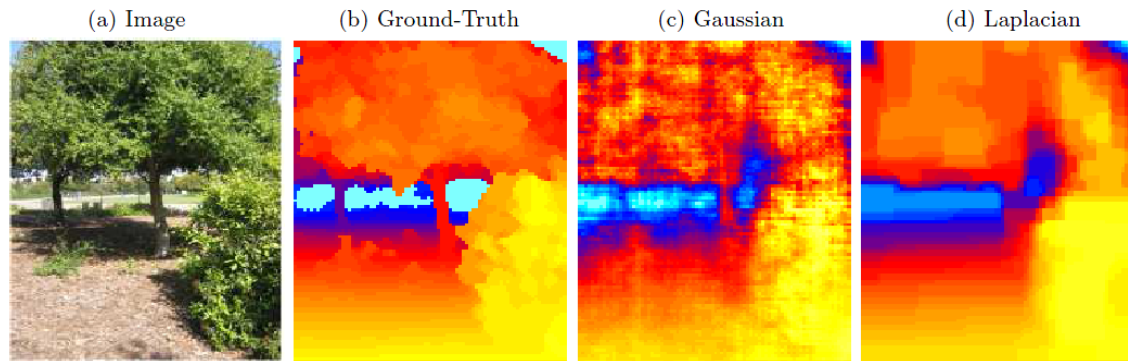
Автоматическое построение Машинное обучение



1. Извлечение множества статистик для классификации
2. Многоуровневые поля Маркова (MRF)
3. Машинное обучение
4. Получение реального значения глубины (true depth)



3-scale Markov Random Field



Depth estimation results

Автоматическое построение Depth from motion

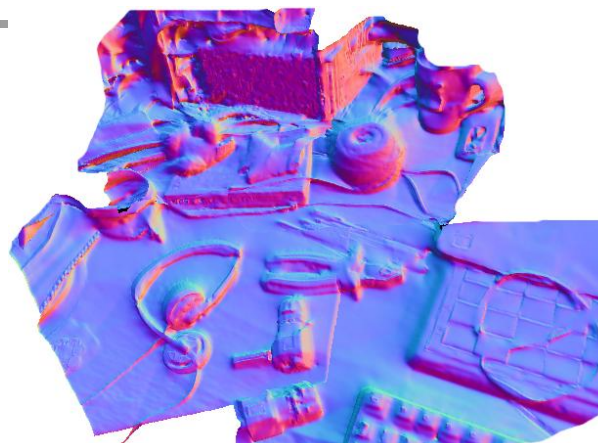


Анализ движения камеры:

- Глубина объектов относительнона
- Калибровка камеры позволяет получить реальные значения глубины (true depth)

Проблемы:

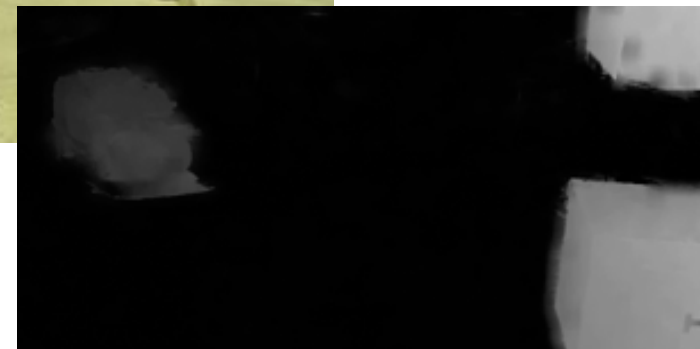
- Движущиеся объекты
- Статичная камера



Live scene
reconstruction



Depth from
motion



Автоматическое построение

Depth from defocus



- Вычисление параметров гауссова размытия границ объектов
- Распространение данных с границ на объекты
- Comfortable depth

Проблемы:

- Узкая область применения
- Неоднозначность распространения



Автоматическое построение Depth from geometry



- Извлекаем из изображения прямые линии
- Анализируем их взаимное расположение

Проблемы:

- Область применения – urban scenes
- «Непрямоугольные» объекты



Введение

Постановка задачи

Особенности:

- Не всегда нужна реальная глубина
- Каждый алгоритм работает только на определенном классе входных последовательностей

Цель:

- Подобрать набор алгоритмов вычисления комфортных для зрителя карт глубин; суммарная область применения алгоритмов должна покрывать максимум входных последовательностей



Содержание

- Введение
- **Comfortable depth generation**
- Focused object segmentation
- Depth from defocus
- Собственные наработки
- Заключение



Comfortable depth generation

Задача:

- Быстро и «недорого» автоматически сгенерировать карту глубины

Предположения:

- Изменение глубины происходит на границах
- Можем выделить конечное число базовых градиентов глубины

Comfortable depth generation

Схема работы

Video/Image In

Initial Depth Gradient Hypothesis

Block Partition

Grouping Blocks
into Regions
Using
Edge information

Depth Assignment
Using
Depth Hypothesis

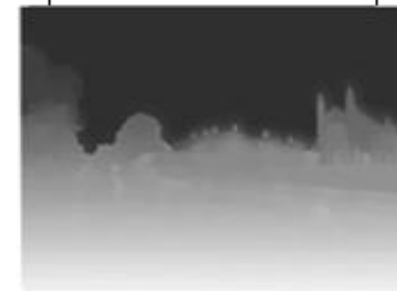
Cross Bilateral
Filter



Block Segmentation



Block Depth Map



Final Depth Map

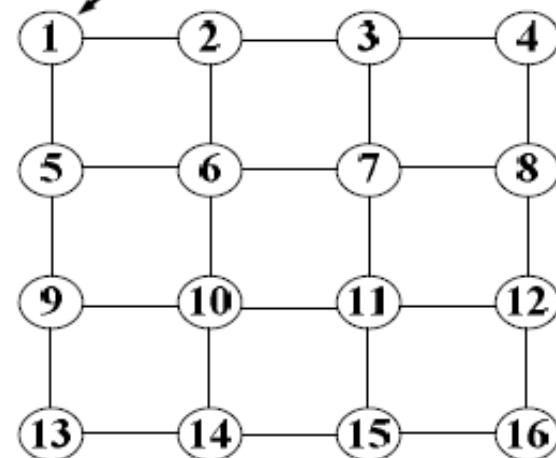
Блочная сегментация

Построение графа

- Разбиваем изображение на блоки 4x4
- Для блока считается среднее по цвету $mean(a)$
- Представляем как неориентированный граф $G(V,E)$:
 - V – блоки-вершины
 - E – ребра с весами $|mean(a) - mean(b)|$

□ : a 4x4 block

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16



Блочная сегментация

Остовное дерево

- Для графа строится минимальное остовное дерево
- Используется алгоритм Прима:

Initial $T = \{\}$

Do

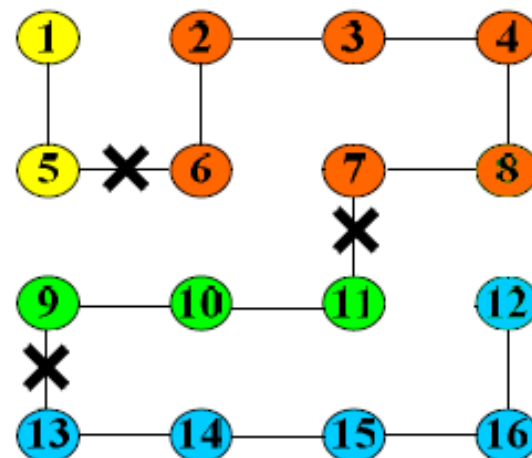
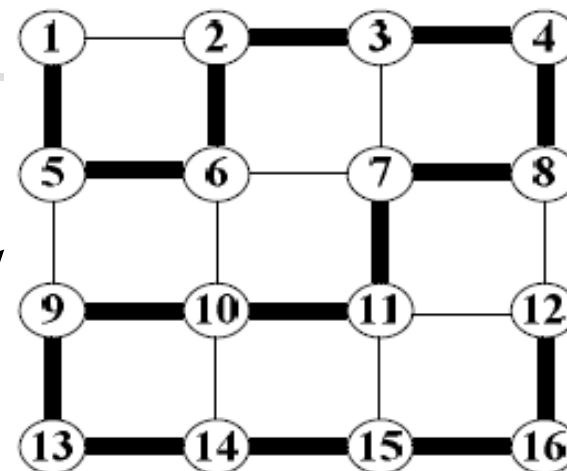
{

$$T_i = \{a \in V \mid a \in MST\}$$

$$N_i = \{(a, b) \in E \mid a \in MST, b \notin MST\}$$

$$T_{i+1} = T_i \cup b, \quad b: \min_{N_i}(a, b)$$

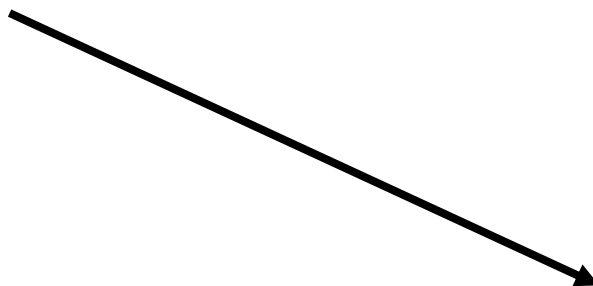
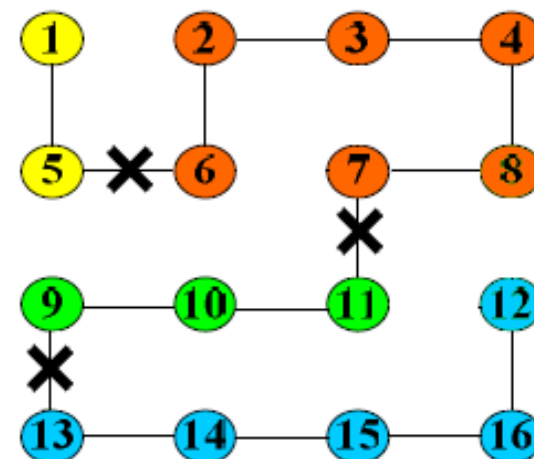
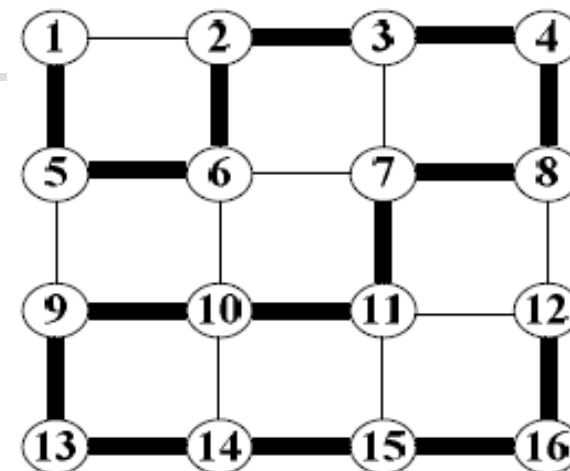
While $T_i \neq T_{i+1}$



Блочная сегментация

Разбиение на сегменты

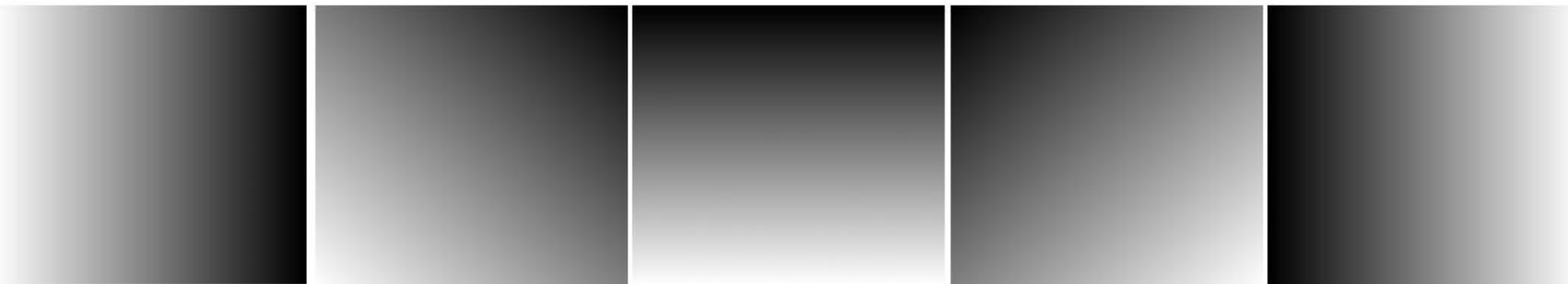
- Полученное остовное дерево разрезается по ребрам с большим весом
- Итоговая блочная сегментация



Comfortable depth generation

Базовый градиент и глубина сегмента

- Из анализа прямых линий на изображении выбирается один из базовых градиентов глубины:



- Глубина сегмента вычисляется как средняя глубина всех его пикселей, W_{rl} , W_{ud} – параметры градиента, $|W_{rl}| + |W_{ud}| = 1$

$$Depth(R) = 128 + 255 \left\{ \sum_{pixel(x,y) \in R} W_{rl} \frac{x - width / 2}{width} + W_{ud} \frac{y - height / 2}{height} \right\} / pixel_num(R),$$

Comfortable depth generation



Итоговая карта глубины

Финальный этап – сглаживание блочной карты с помощью билатеральной фильтрации



Original



Filtered

Comfortable depth generation



Результаты



Comfortable depth generation



Результаты



Comfortable depth generation

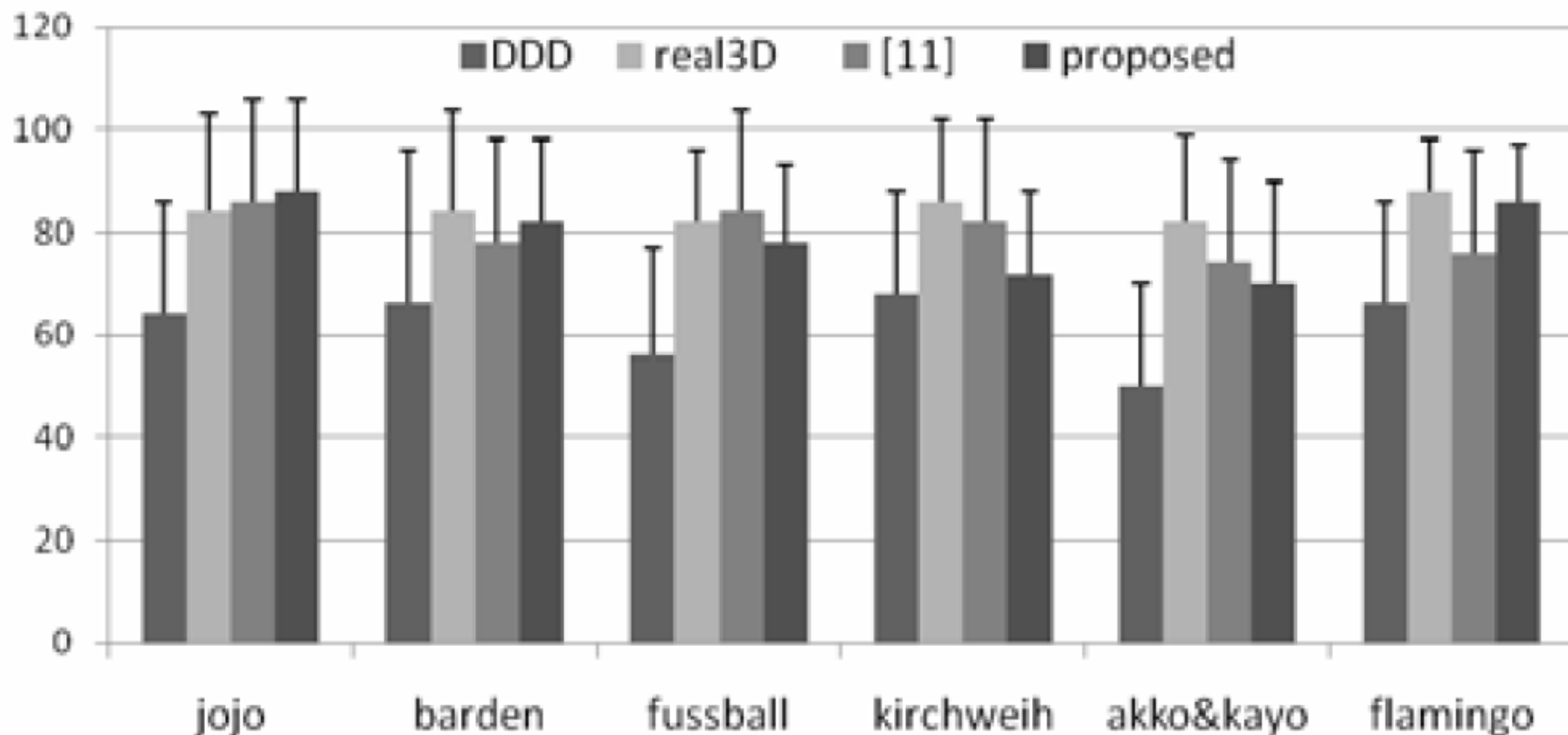


Результаты: ошибки



Результаты

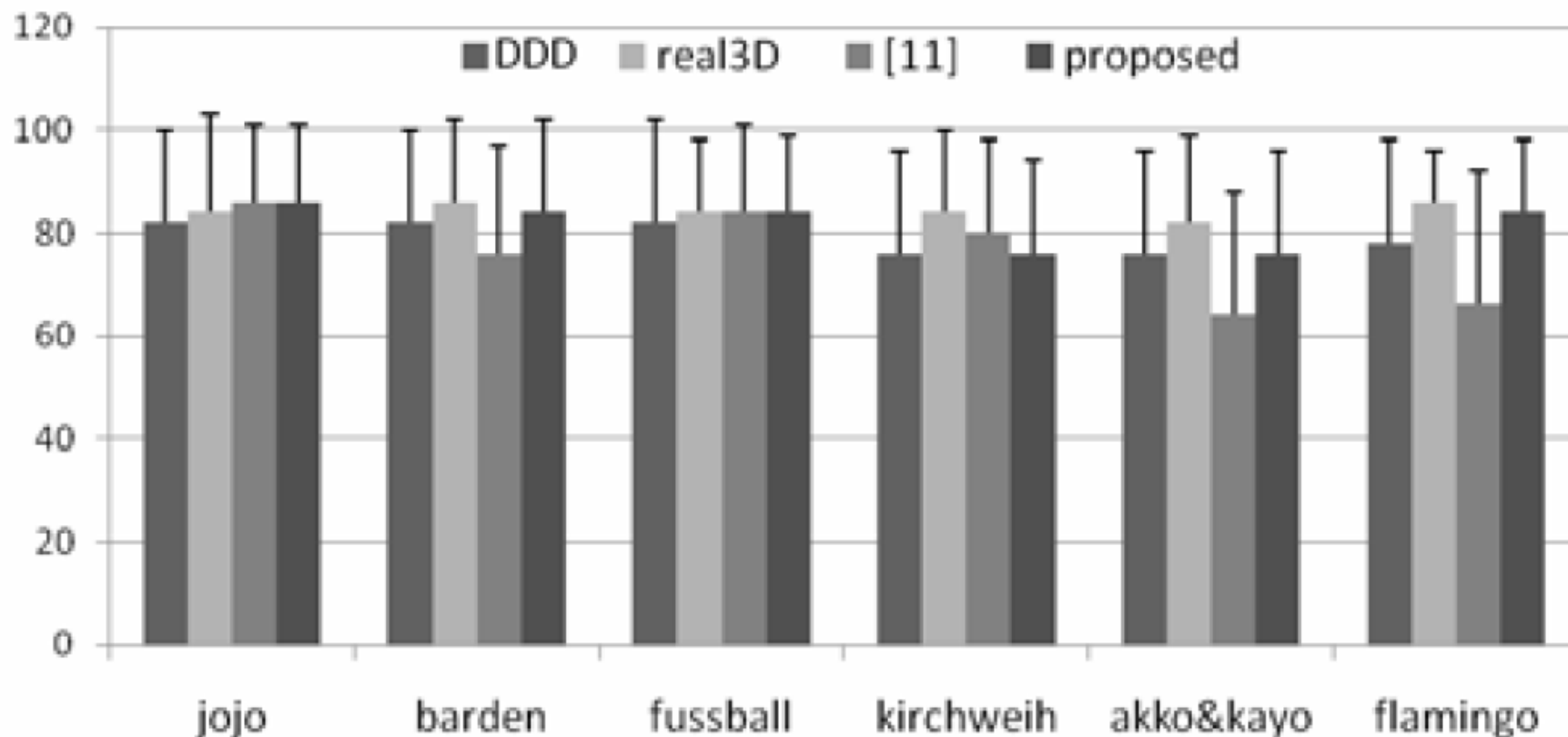
Субъективная оценка



Depth Quality

Результаты

Субъективная оценка



Visual Comfort



Выводы

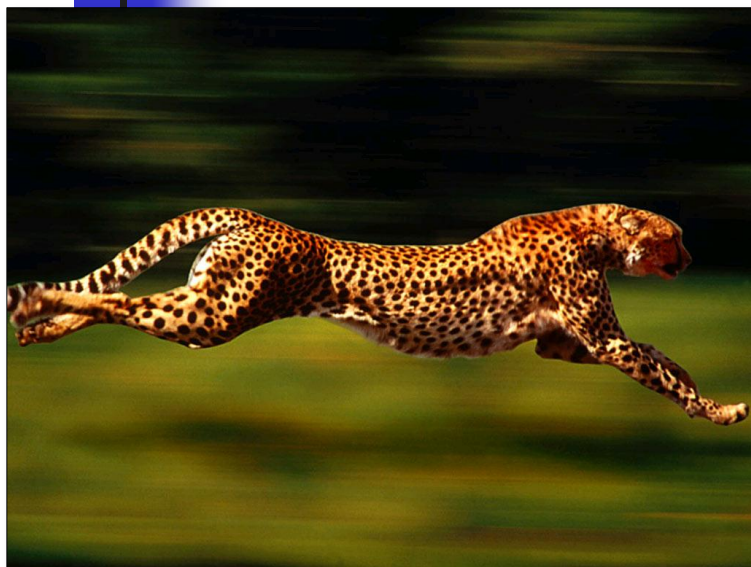
- Достоинства:
 - Нормальное субъективное качество
- Недостатки:
 - Карта глубины далека от реальной
 - Слишком простые базовые предположения о геометрии сцены



Содержание

- Введение
- Comfortable depth generation
- **Focused object segmentation**
- Depth from defocus
- Собственные наработки
- Заключение

Focused object segmentation



Focused object segmentation

- Широкий класс сцен – объект в фокусе и размытый фон
- Задача – разделить изображение на передний план (Object Of Interest, OOI) и фон



“Talking Heads”

Focused object segmentation



Алгоритм

- Идея – найти наиболее сфокусированную область изображения
- Проблемы:
 - Резкие границы на фоне
 - Резкие текстурные области фона
 - Ровные области ООІ

Focused object segmentation



Алгоритм

- Вычисление статистики высокого порядка (Higher Order Statistics, HOS)
- Упрощение HOS map морфологией с сохранением границ (morphological filters by reconstruction)
- Выделение главного сегмента OOI и его «разрастание»



Original image



HOS map



Morphological
simplification



OOI segmentation

Алгоритм HOS map

- Вычисляем моменты четвертого порядка

$$\hat{m}^{(4)}(x, y) = \frac{1}{N_{\eta}} \sum_{(s, t) \in \eta(x, y)} (I(s, t) - \hat{m}(x, y))^4$$

- Определяем $HOS(x, y)$ как:

$$tempHOS(x, y) = \max(\hat{m}_R^{(4)}(x, y), \hat{m}_G^{(4)}(x, y), \hat{m}_B^{(4)}(x, y))$$

$$HOS(x, y) = \min(255, tempHOS(x, y) / DSF)$$

η – окрестность, N_{η} – размер окрестности

$I(x, y)$ – цветовая компонента изображения

$m(x, y)$ – среднее по окрестности

DSF – down scaling factor



Local variance map



HOS map

Алгоритм

Morphological filters by reconstruction

- Стандартная морфология:

ε_B – сужение, δ_B – расширение

$$\varepsilon_B(O)(x, y) = \min_{(k, l) \in B_{x, y}} \text{HOS}(k, l)$$

$$\delta_B(O)(x, y) = \max_{(k, l) \in B_{x, y}} \text{HOS}(k, l)$$

- Geodesic filters:

O_R – яркость исходного пикселя

$$\varepsilon^{(1)}(O, O_R)(x, y) = \max \{ \varepsilon_B(O)(x, y), O_R(x, y) \}$$

$$\delta^{(1)}(O, O_R)(x, y) = \min \{ \delta_B(O)(x, y), O_R(x, y) \}$$

Алгоритм

Morphological filters by reconstruction

- Filters by reconstruction:

$$\varphi^{(\text{rec})}(O, O_R) = \varepsilon^{(\infty)}(O, O_R) = \varepsilon^{(1)} \circ \varepsilon^{(1)} \circ \dots \circ \varepsilon^{(1)}(O, O_R)$$

$$\gamma^{(\text{rec})}(O, O_R) = \delta^{(\infty)}(O, O_R) = \delta^{(1)} \circ \delta^{(1)} \circ \dots \circ \delta^{(1)}(O, O_R)$$

- Open by reconstruction:

$$\gamma^{(\text{rec})}(\varepsilon_B(O), O)$$

- Closing by reconstruction:

$$\varphi^{(\text{rec})}(\delta_B(O), O)$$

Алгоритм

Morphological filters by reconstruction

- В работе использовалось закрытие-открытие с радиусом, заведомо покрывающим мелкие детали HOS map



original

HOS map

simplified

Алгоритм Сегментация

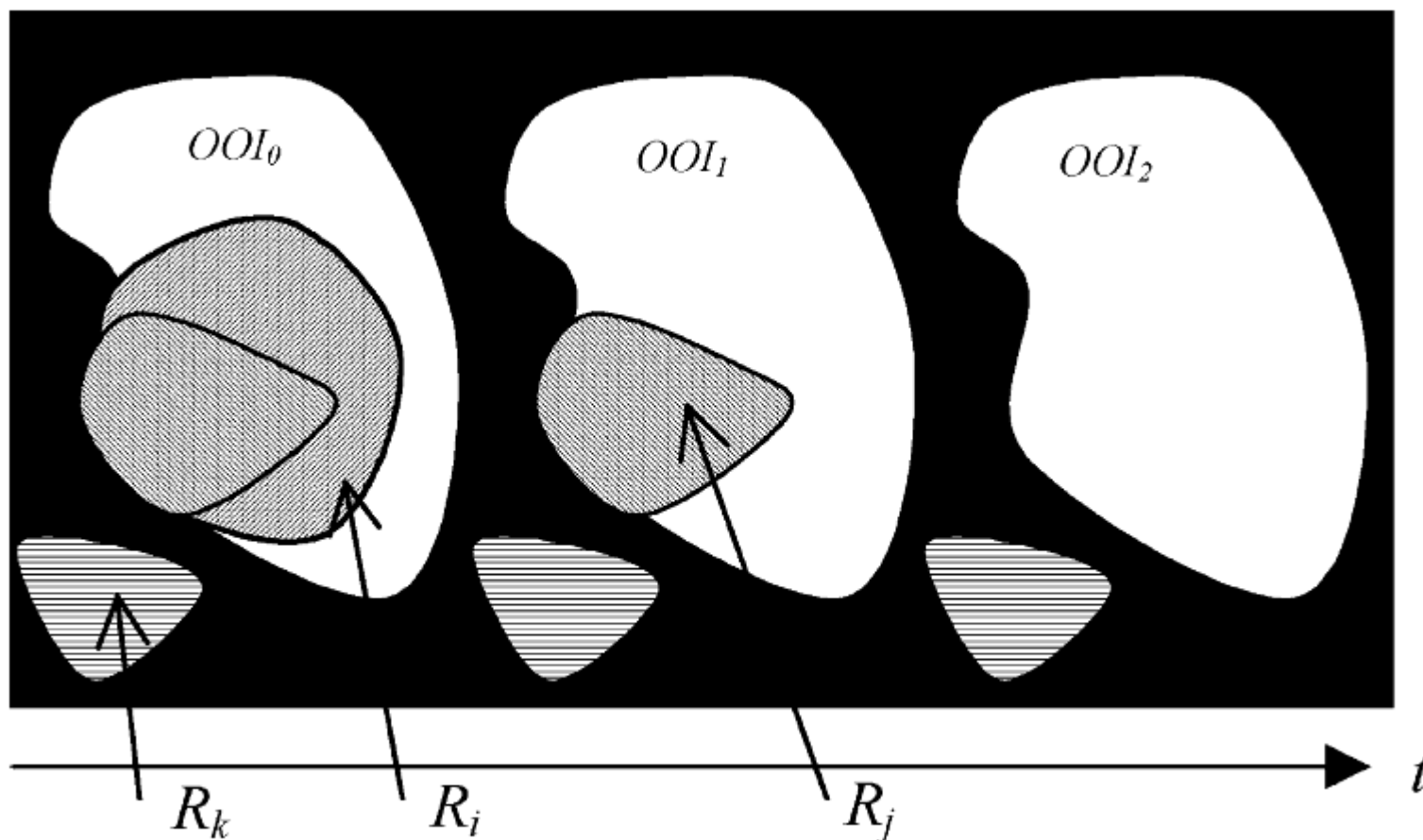
- Объединение связанных компонент
- Определение компоненты с наибольшим значением HOS (зерна OOI)
- Определение компонент, относящихся к фону (HOS меньше T_L порога)
- Итеративное разрастание OOI – захват соседних сегментов

$$\frac{\text{card}(BR_{n,i} \cap OOI_n)}{\text{card}(BR_{n,i})} > \frac{1}{2}$$

card – граница области

$BR_{n,i}$ – текущий рассматриваемый сегмент

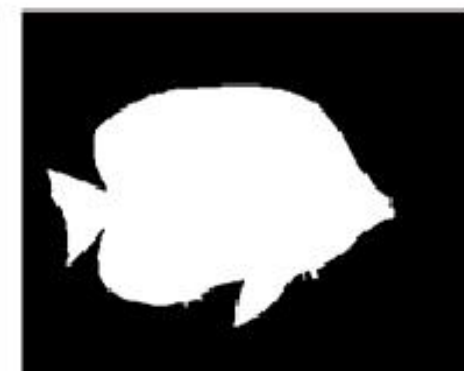
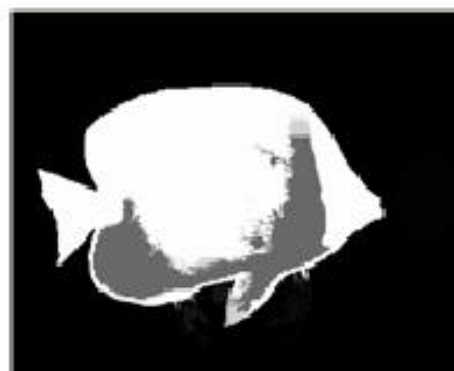
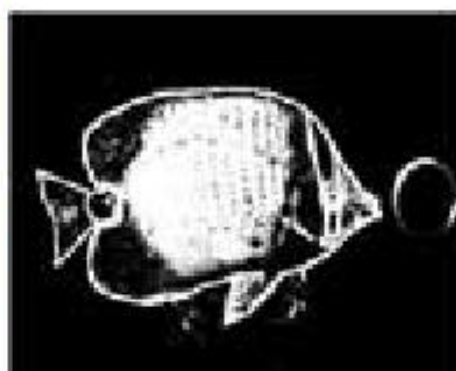
Алгоритм Сегментация



Разрастание OOI

Focused object segmentation

Результаты



Original

HOS map

Simplified

Segmentation

Focused object segmentation



Выводы

- Достоинства:
 - Возможность применения для построения комфортных карт глубины
- Недостатки:
 - Карта глубины только двух уровней

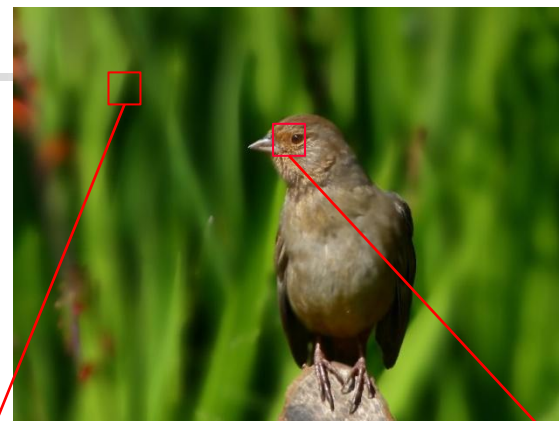


Содержание

- Введение
- Comfortable depth generation
- Focused object segmentation
- **Depth from defocus**
- Собственные наработки
- Заключение

Depth from defocus

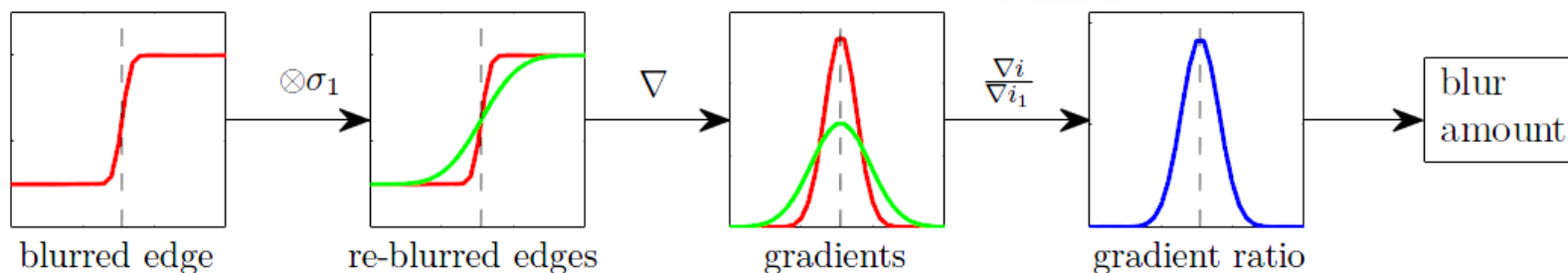
1. Исследуем параметры размытия границ
2. Вводим модель гауссова размытия границы
3. Вычисляем коэффициент размытия



Не в фокусе (дальше)



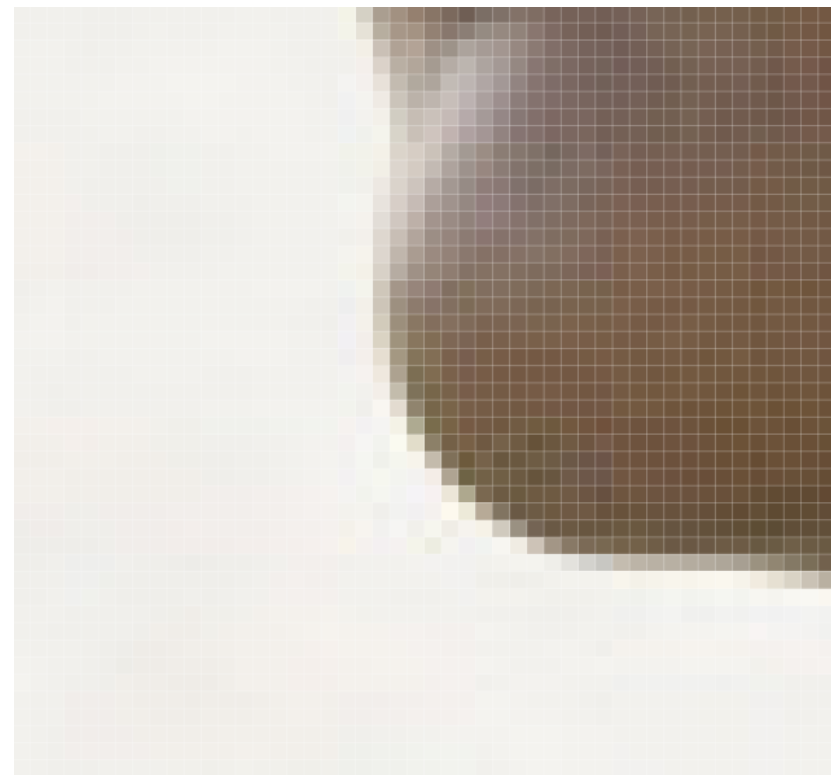
В фокусе (ближе)



Основная проблема: распространение информации с границ на все изображение

Depth from defocus

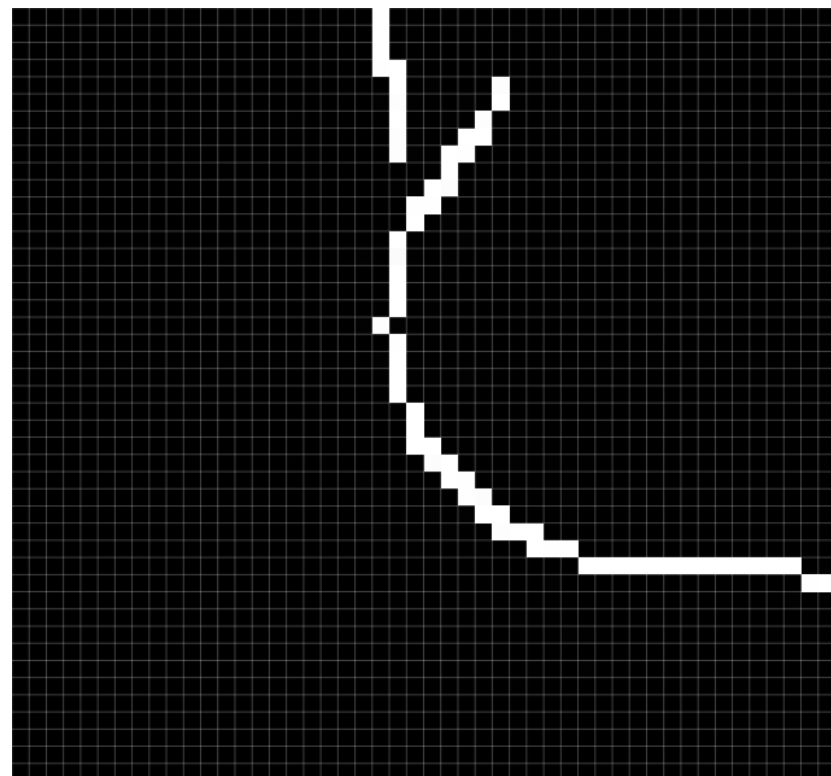
- Граница лежит в неопределенной области (blended region), $\alpha \in (0, 1)$
- Используем метод маттинга для распространения информации с границ



Элемент исходного изображения

Depth from defocus

- Граница лежит в неопределенной области (blended region), $\alpha \in (0, 1)$
- Используем метод маттинга для распространения информации с границ



Посчитанная граница
по Кэнни

Depth from defocus

Depth propagation

Минимизация функции энергии $E(d)$:

$$E(d) = d^T Ld + \lambda(d - \hat{d})^T D(d - \hat{d})$$

Сводим к решению СЛАУ:

$$(L + \lambda D)d = \lambda D\hat{d}$$

d – вектор значений глубины всего изображения

\hat{d} – вектор посчитанных значений глубины ($\neq 0$ только на границах)

λ – штраф изменения посчитанных значений

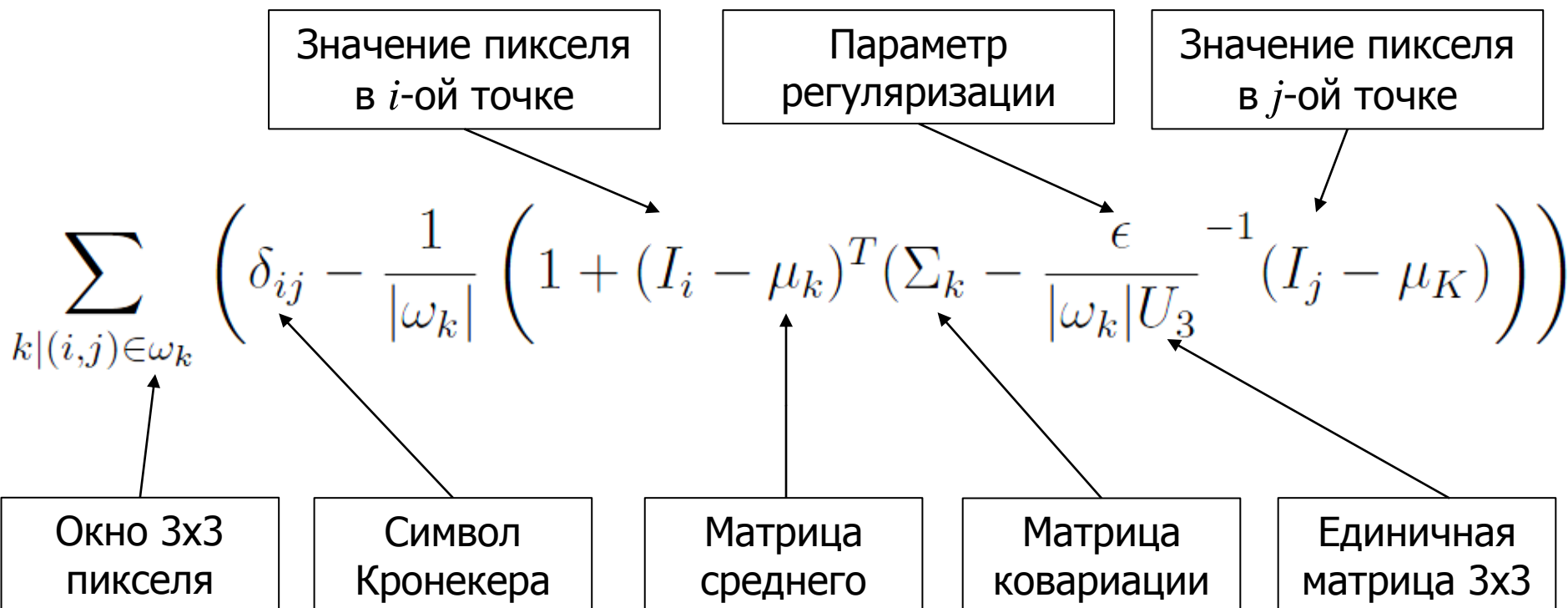
D – единичная матрица

L – матрица Лапласа с коэффициентами маттинга

Depth propagation

Функция энергии

Матрица Лапласа: $L(i, j) =$



Depth from defocus

Результаты



Original



Depth

Depth from defocus

Результаты



Original



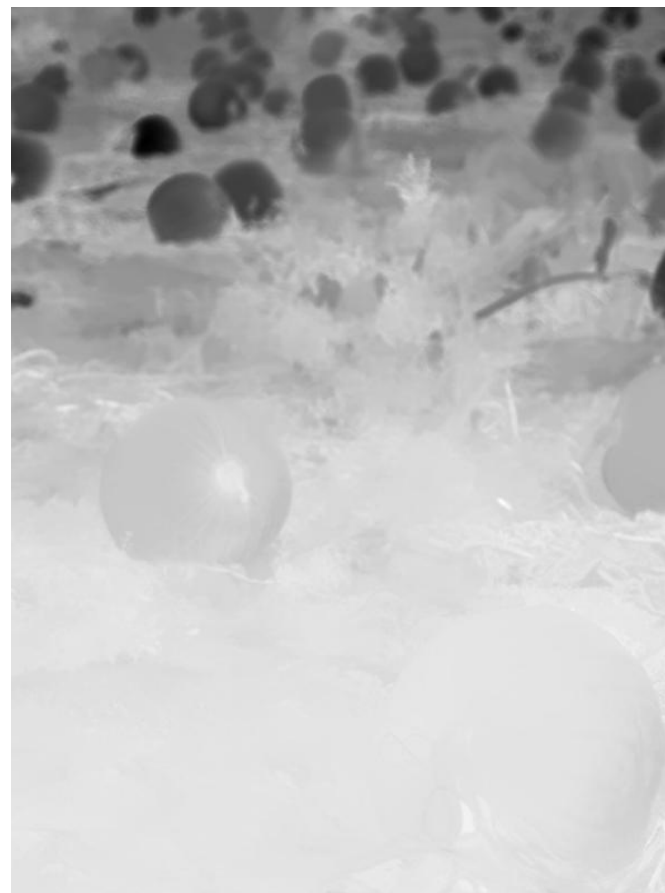
Depth

Depth from defocus

Результаты



Original



Depth

Depth from defocus

Выводы

- Достоинства:
 - Comfortable depth
 - Сохранение границ объектов
- Недостатки:
 - Узкая область применения
 - Временная стабильность не гарантирована
 - Вычислительная сложность (большой размер СЛАУ)



Содержание

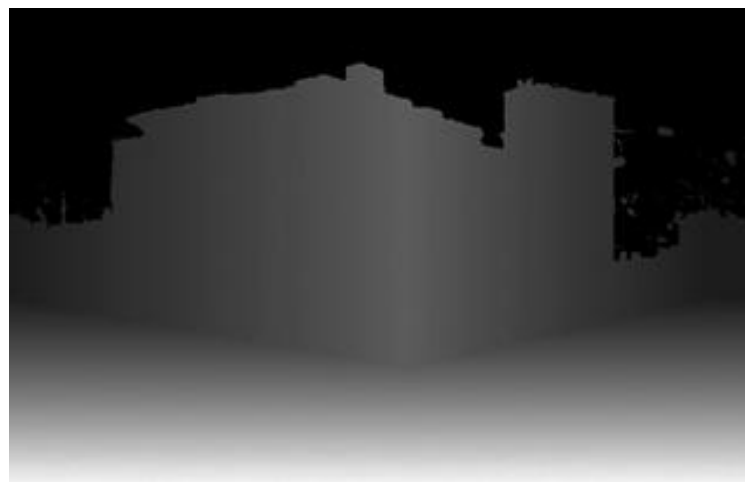
- Введение
- Comfortable depth generation
- Focused object segmentation
- Depth from defocus
- **Собственные наработки**
- Заключение

Собственные наработки

- Сегментация неба по цвету
- Два метода:
 - Depth from defocus
 - Depth from geometry



Defocus



Geometry

Собственные наработки

Defocus depth propagation

1. Вычисление коэффициента размытия на границах
2. Итеративное распространение билатеральной фильтрацией



Blur on edges



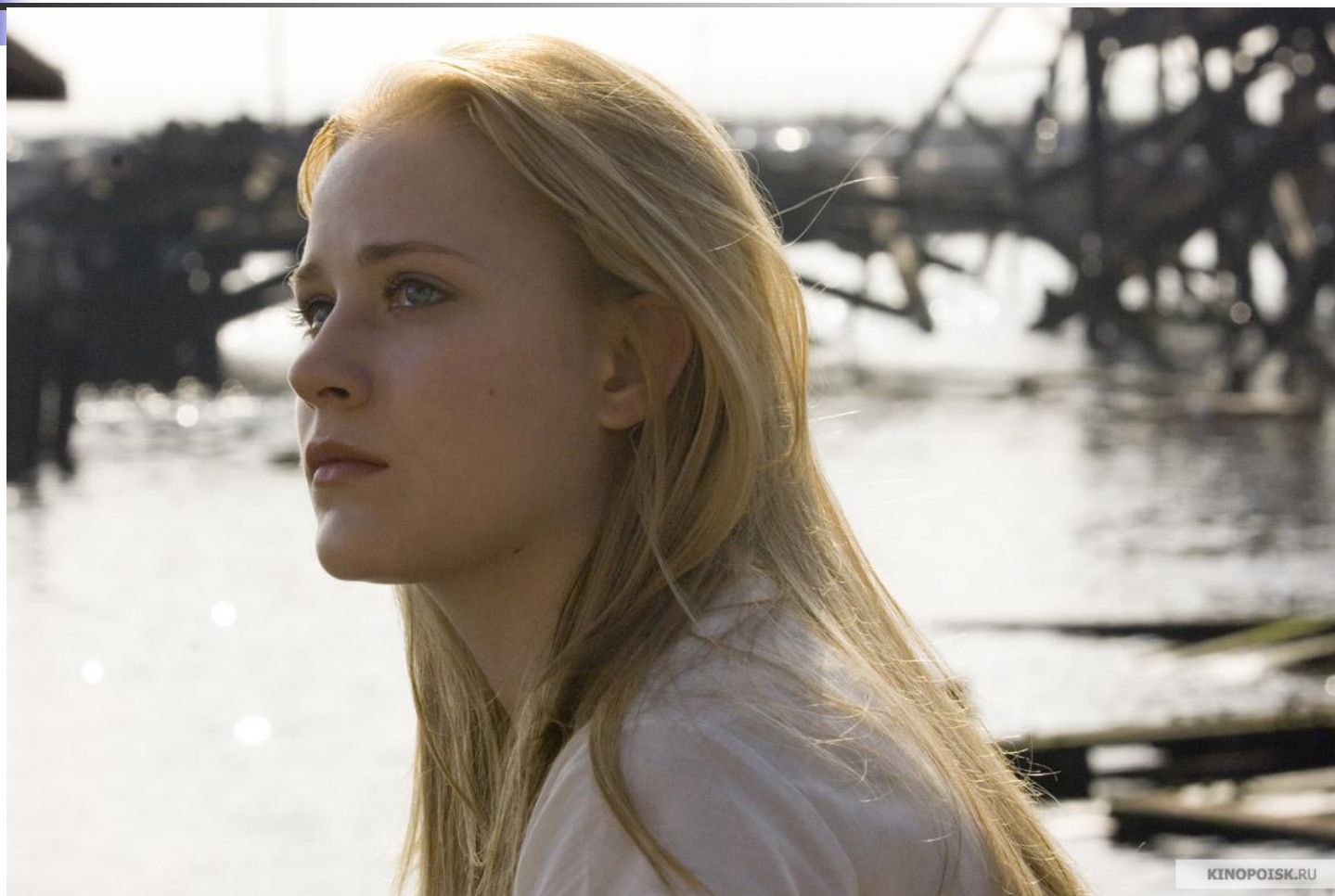
N^{th} Propagation iteration



Depth map

Defocus

Результаты



Original

Defocus

Результаты



Depth map

Defocus

Выводы

- Достоинства:
 - Comfortable depth
- Недостатки:
 - Проблема локально-инвертированной глубины
 - «Затекания» глубины на ровных по цвету участках (некритично для построения стерео)
 - Время работы

Собственные наработки

Depth from geometry

1. Границы по Кэнни
2. Производные dx, dy по Собелю
3. Аккумулируем параметры прямых для точек маски границ

$$y = kx + b$$

$$k(x, y) = \frac{dx}{dy}$$

$$b(x, y) = y - xk(x, y)$$

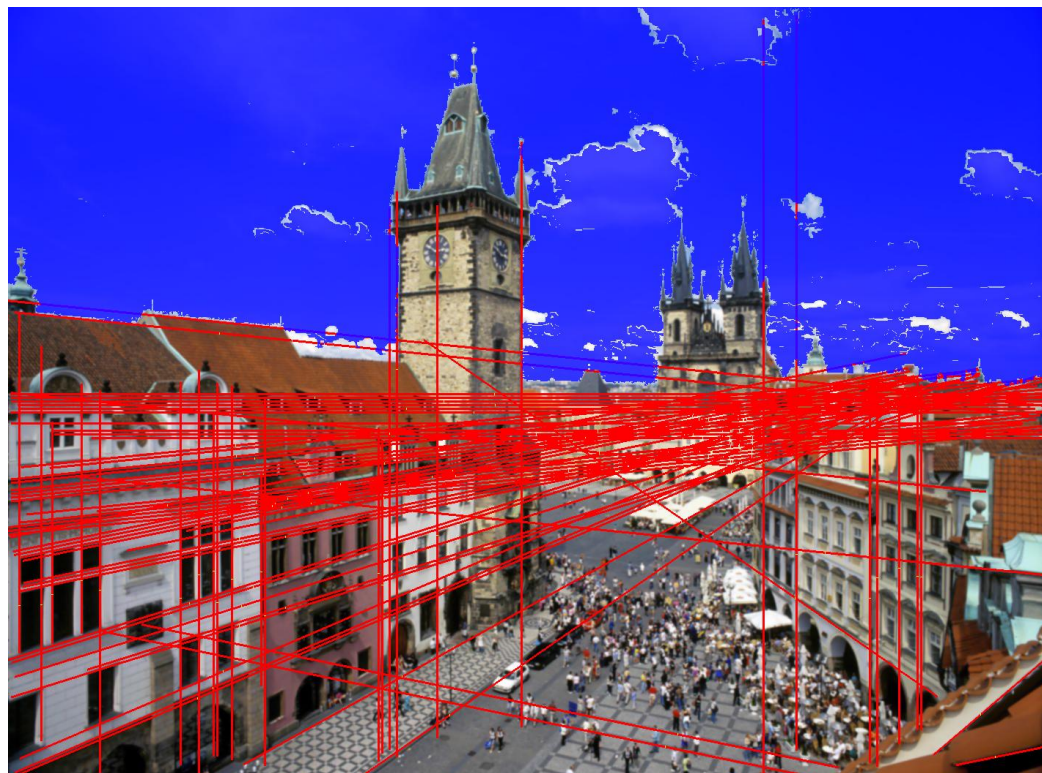
$$ACC_matr(k, b) ++$$



Собственные наработки

Depth from geometry

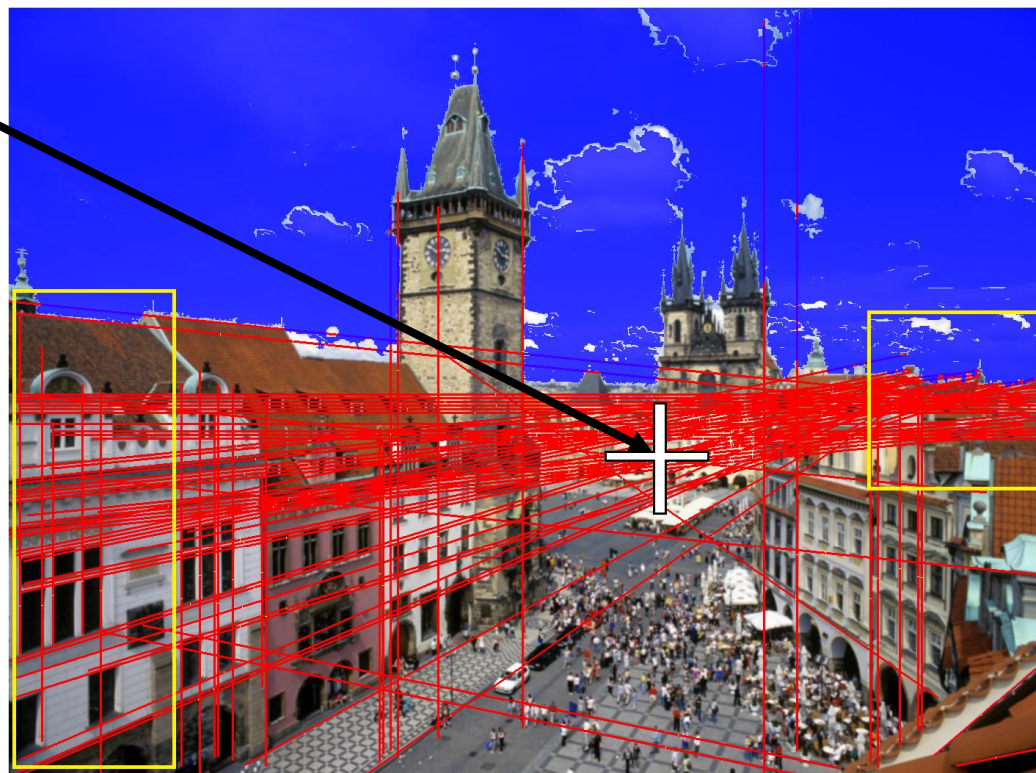
- Сегментация неба по цвету
- Выделение отрезков из линий (крайние проголосовавшие точки)



Собственные наработки

Depth from geometry

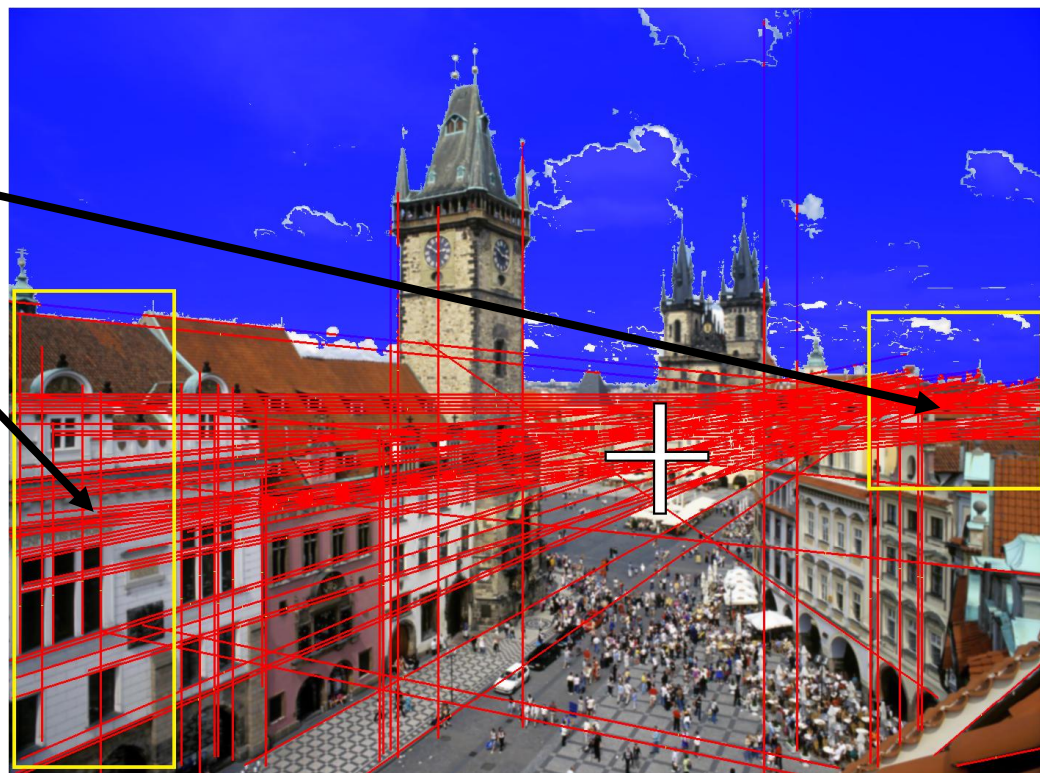
Определение центра
скопления линий
(минимизация невязки)



Собственные наработки

Depth from geometry

Определение крайних областей пучков



Depth from geometry

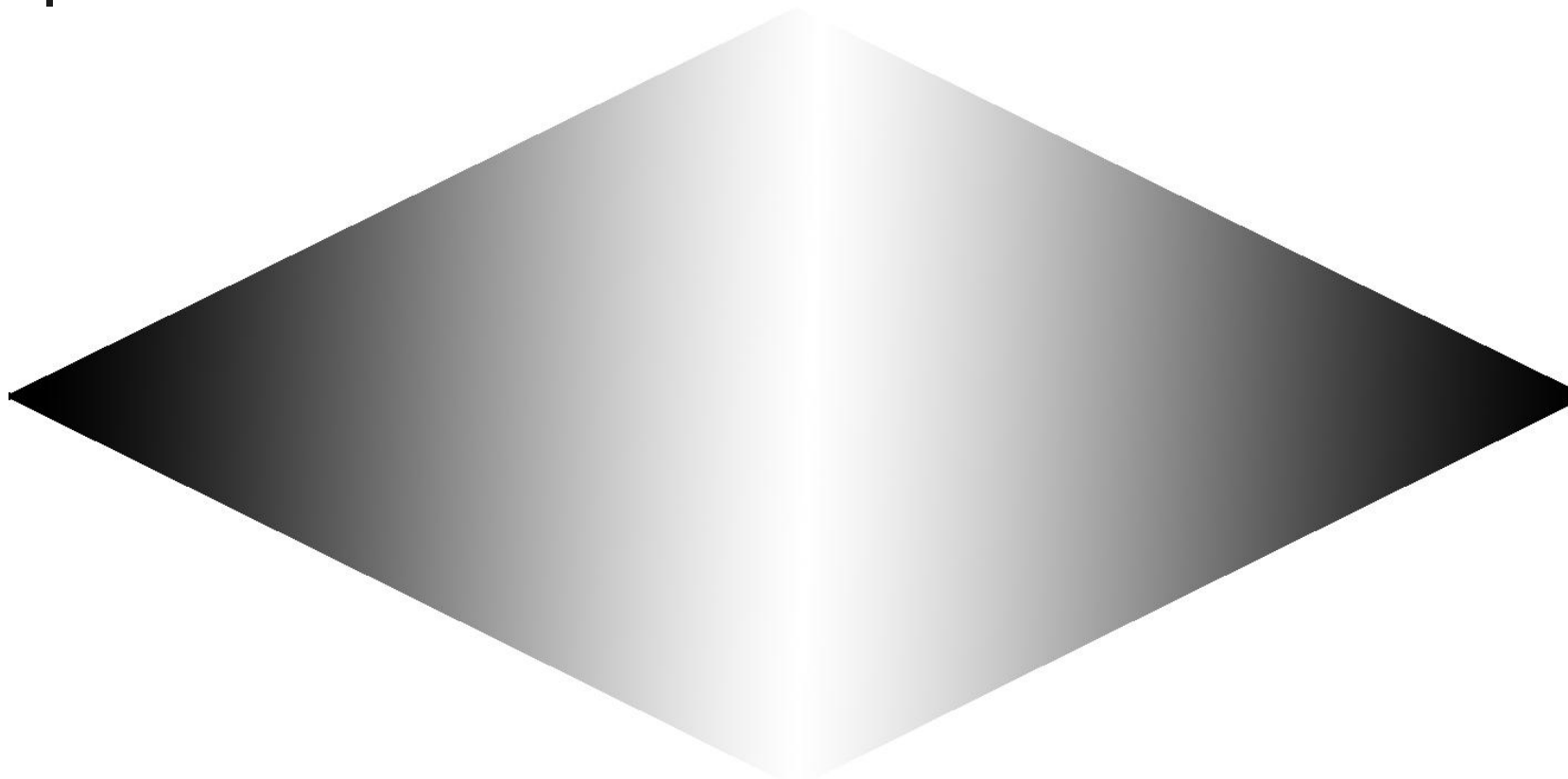
Два случая сцены



Расходящаяся

Depth from geometry

Два случая сцены



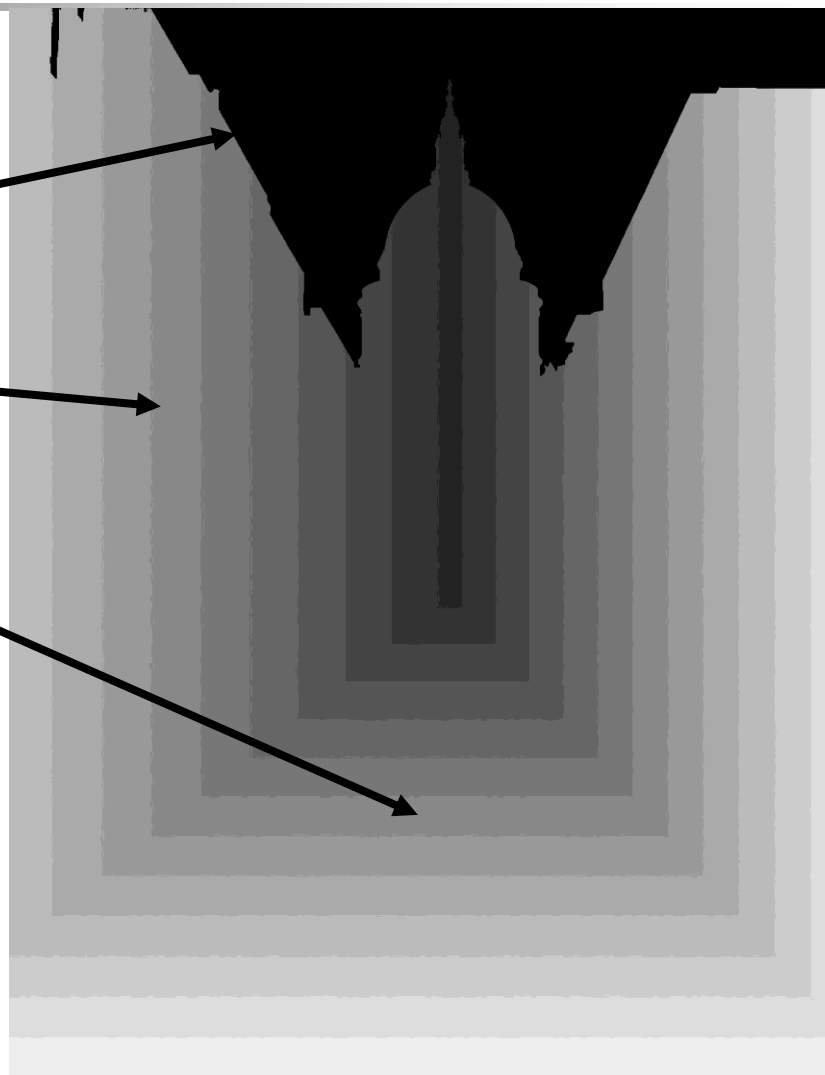
Сходящаяся

Depth from geometry

Финальная карта глубины

Объединяем:

- Маска неба
- Схема сцены
- Вертикальный градиент



Depth from geometry

Выводы

- Достоинства:
 - Comfortable depth
- Недостатки:
 - На данном этапе – слишком простые решения, большое количество эвристик
 - Объекты «прилипают» к базовой геометрии

Литература

1. Chao-Chung Cheng et al., "A Novel 2D-to-3D Conversion System Using Edge Information", Trans. on IEEE CE 2010
2. Changick Kim, "Segmenting a Low-Depth-of-Field Image Using Morphological Filters and Region Merging", SPIE VCIP 2005
3. Jungwoo Park, Changick Kim, "Extracting Focused Object from Low Depth-of-Field Image Sequences", SPIE VCIP 2006
4. Shaojie Zhuo, Terence Sim, "Recovering Depth from a Single Defocused Image", under review, 2010

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