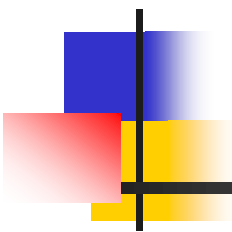


# Некоторые методы матирования видео



Юрий Бердников

*Video Group*

*CS MSU Graphics & Media Lab*



# Содержание

---

- **Введение**
- Closed Form Image Matting
- Temporally Consistent Video Matting
- FuzzyMatte
- Свой метод
- Заключение

# Введение





# Требования к алгоритму

---

- Скорость работы
- Отсутствие «провалов» на объектах
- Отсутствие «мерцания» на видео
- Определение цветов фона и объекта



# Содержание

---

- Введение
- **Closed-form image matting**
- Temporally consistent video matting
- FuzzyMatte
- Свой метод
- Заключение

# Closed-form image matting

- Предположение о локальной гладкости

$$\alpha_i \approx aI_i + b, \quad \forall i \in w, \quad a = \frac{1}{F-B}, \quad b = -\frac{B}{F-B}$$

Прозрачность

Текущий  
цвет

Окно 3x3

Цвет объекта

Цвет фона

- Минимизация функции

$$J(\alpha, a, b) = \sum_{j \in I} \left( \sum_{i \in w_j} (\alpha_i - a_j I_i - b_j)^2 + \epsilon a_j^2 \right)$$

Весь кадр

Окно вокруг пикселя j

Регуляризация

# Основная теорема

Пусть  $J(\alpha) = \min_{a,b} J(\alpha, a, b)$

тогда  $J(\alpha) = \alpha^T L \alpha$

Количество пикселей  
в изображении

где  $L$  - матрица  $N \times N$ , у которой элемент  $(i, j)$

$$\sum_{k|(i,j) \in w_k} \left( \delta_{ij} - \frac{1}{|w_k|} \left( 1 + \frac{1}{\frac{\varepsilon}{|w_k|} + \sigma_k^2} (I_i - \mu_k)(I_j - \mu_k) \right) \right)$$

Символ Кронекера

Дисперсия цвета в окне

Средний цвет в окне

# Работа с цветом

- Переход от линейной модели к 4D

$$\alpha_i \approx aI_i + b \quad \longrightarrow \quad \alpha_i \approx \sum_c a^c I_i^c + b$$

- Вид матрицы для цветного изображения

$$\sum_{k|(i,j) \in w_k} \left( \delta_{ij} - \frac{1}{|w_k|} \left( 1 + (I_i - \mu_k) \left( \Sigma_k + \frac{\varepsilon}{|w_k|} I_3 \right)^{-1} (I_j - \mu_k) \right) \right)$$

Матрица ковариации

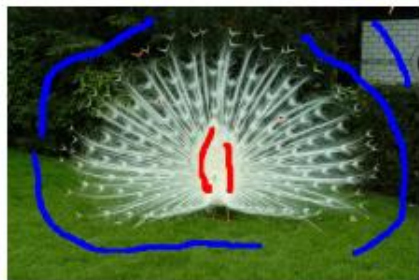
Единичная матрица 3x3



# Финальный вид алгоритма

- Задача минимизации функции  $M$  переменных
- Время работы исходного метода – 20с (MATLAB, кадр 300x200)
- Оптимизации за счет прореживания и multigrid solver

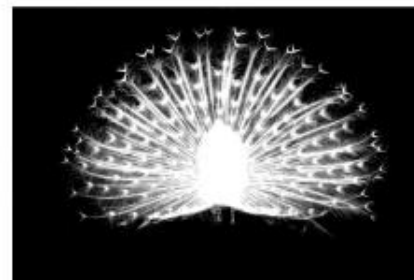
# Примеры работы (1)



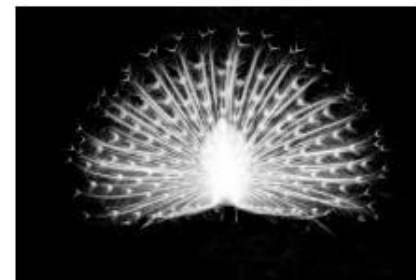
(a) Peacock scribbles



(b) Poisson from scribbles



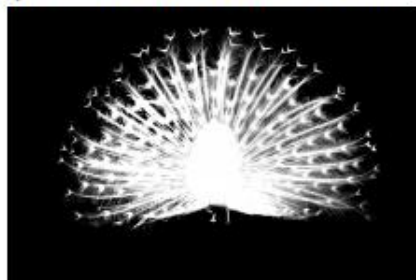
(c) Wang-Cohen



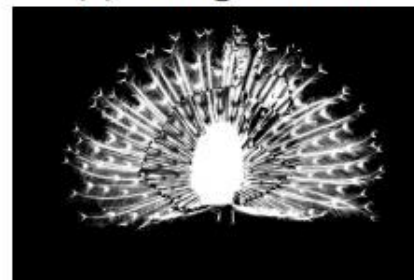
(d) Our result



(e) Peacock trimap



(f) Poisson from trimap



(g) Bayesian



(h) Random walk

# Примеры работы (2)



(i) Fire scribbles



(j) Poisson from scribbles



(k) Wang-Cohen



(l) Our result



(m) Fire trimap



(n) Poisson from trimap



(o) Bayesian



(p) Random walk



# Анализ алгоритма

---

- Преимущества
  - Хорошее качество работы
- Недостатки
  - Низкая скорость
  - Нет гарантии стабильности во времени

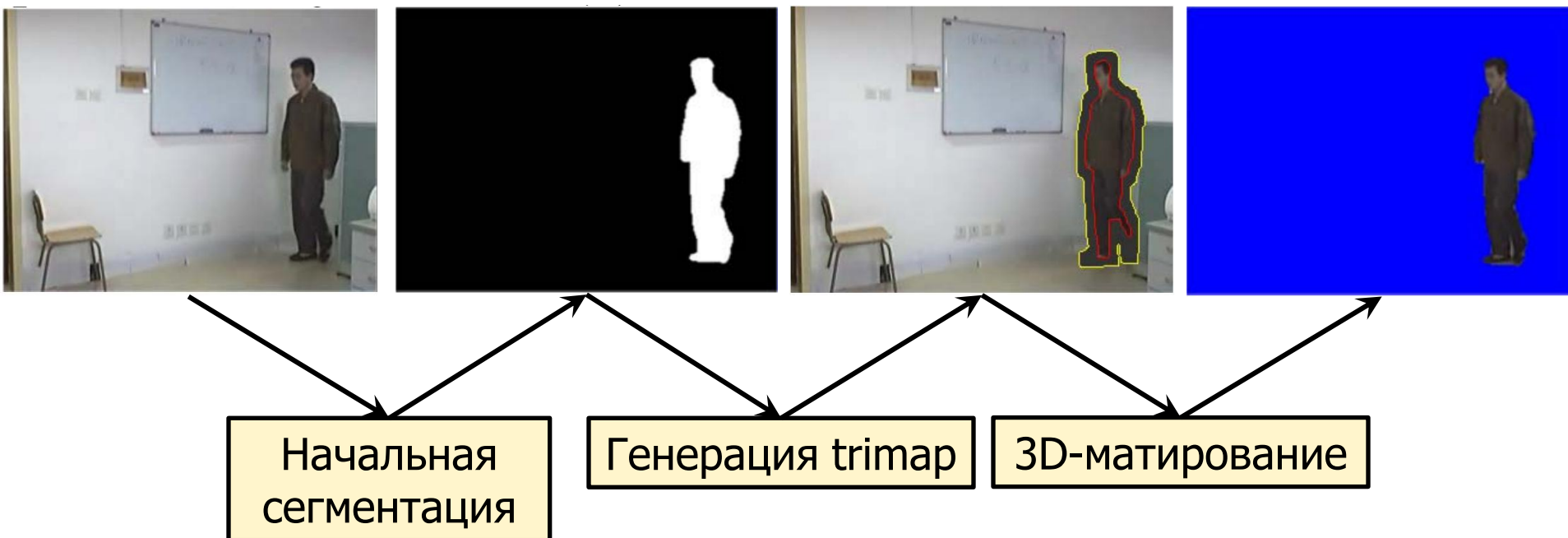


# Содержание

---

- Введение
- Closed-form image matting
- **Temporally consistent video matting**
- FuzzyMatte
- Свой метод
- Заключение

# Схема алгоритма



# Начальная сегментация

- Алгоритм – Graph Cut на карте вероятностей
- Карта вероятностей строится с помощью WKDE
- Пример работы



Исходный кадр

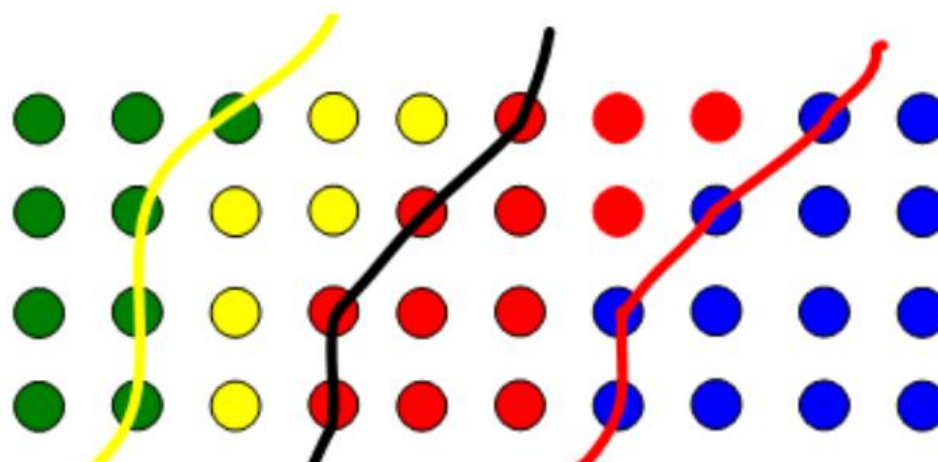
Карта  
вероятности

Результат

Ground Truth

# Построение trimap

- Грубое построение trimap с помощью морфологии
- Уточнение trimap с помощью GMM



Фон, вероятный фон, вероятный объект, объект



# Уточнение trimap

- Построение GMM для фона и объекта
- Для каждого пикселя вероятного объекта:
  - Поиск наиболее вероятного цвета объекта

$$F_p = FGMM(k_0), \quad k_0 = \arg \min_{i=1}^N \|C_p - FGMM(i)\|$$

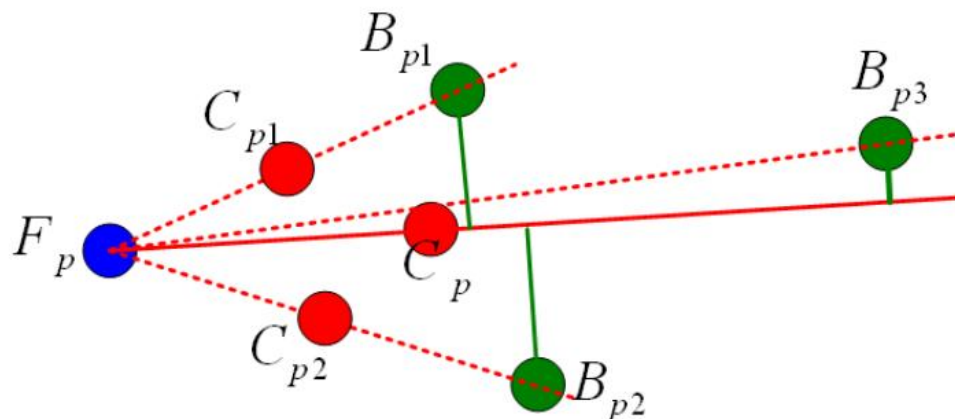
Гауссианы GMM объекта

Цвет текущего пикселя

- Поиск наиболее вероятного цвета фона
- Определение прозрачности

# Цвет фона и прозрачность

- Определение цвета фона



- Определение прозрачности и типа пикселя

$$\alpha = \frac{\|C_p - B_p\|}{\|F_p - B_p\|}$$

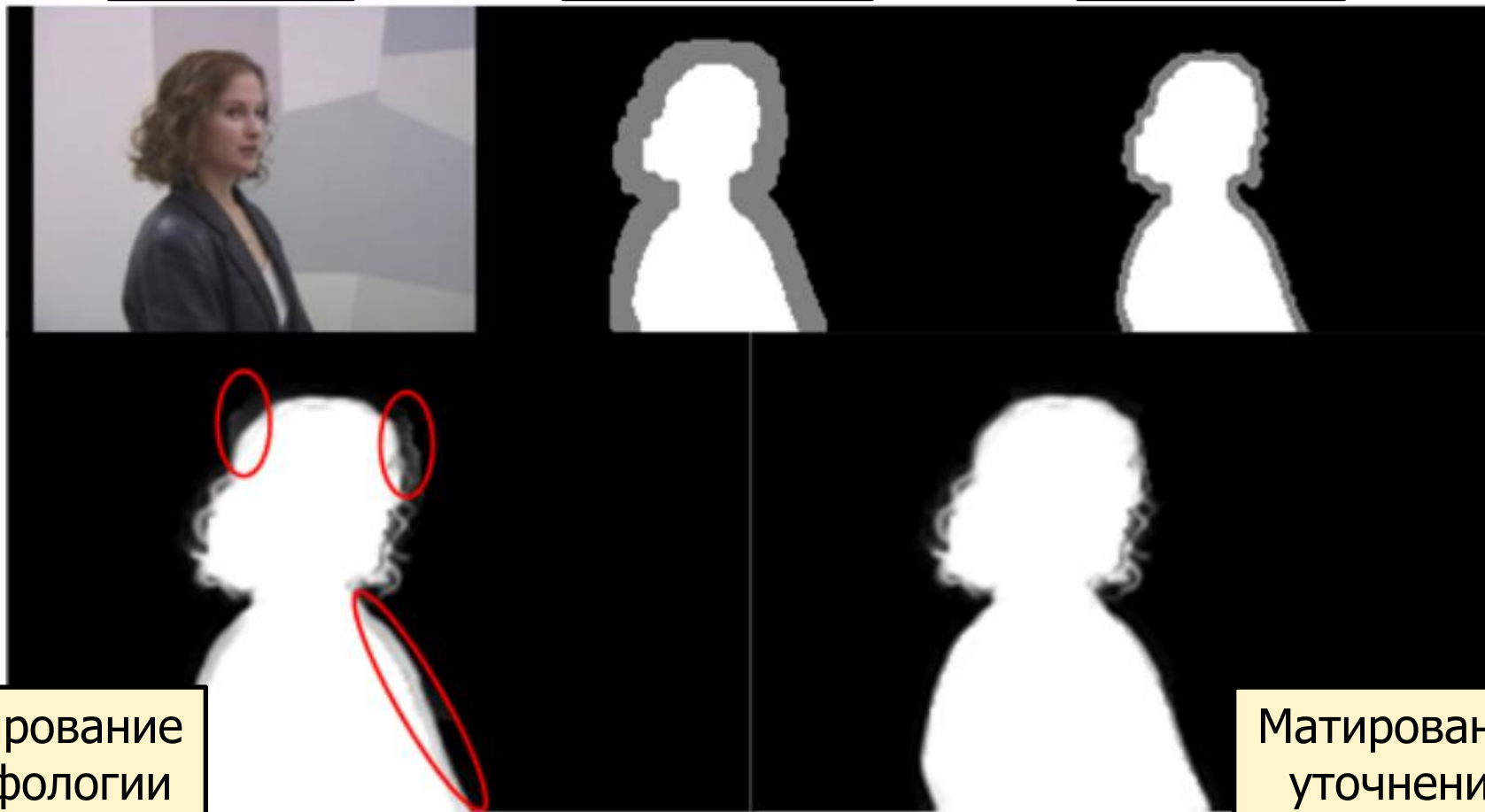
$$p \in \begin{cases} F, & \text{if } \alpha > \varepsilon \\ B, & \text{if } \alpha < 1 - \varepsilon \\ U, & \text{otherwise} \end{cases}$$

# Пример работы уточнения

Исходное

Морфология

Уточнение

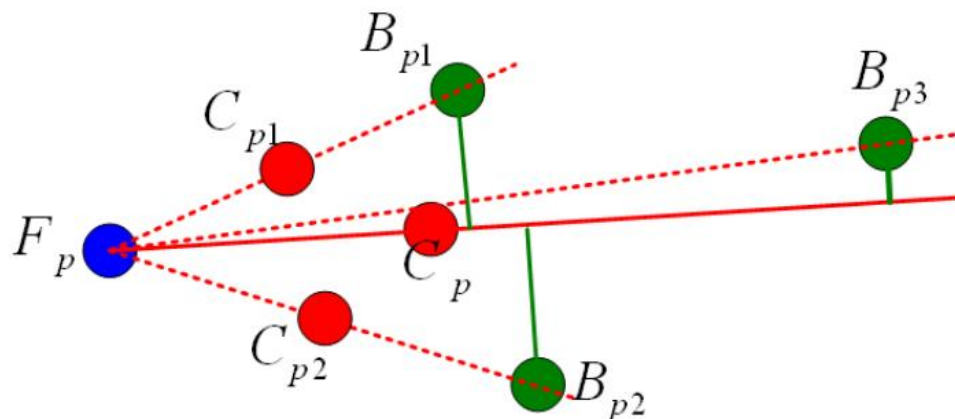


Матирование  
морфологии

Матирование  
уточнения

# Цвет фона и прозрачность

- Определение цвета фона



- Определение прозрачности и типа пикселя

$$\alpha = \frac{\|C_p - B_p\|}{\|F_p - B_p\|}$$

$$p \in \begin{cases} F, & \text{if } \alpha > \varepsilon \\ B, & \text{if } \alpha < 1 - \varepsilon \\ U, & \text{otherwise} \end{cases}$$

# 3D-матирование

- Алгоритм – closed-form matting
- Трёхмерное окно для каждого пикселя:

Векторы движения  
из optical flow

$$w^{3D}(t) = \left\{ (x, y, t-1) \mid \left\| (x_0 + v_x, y_0 + v_y, t) - (x, y, t) \right\| \leq \sqrt{2} \right\} \\ \cup \left\{ (x, y, t) \mid \left\| (x_0, y_0, t) - (x, y, t) \right\| \leq \sqrt{2} \right\}$$

Координаты текущего пикселя

# Методы оценки алгоритма

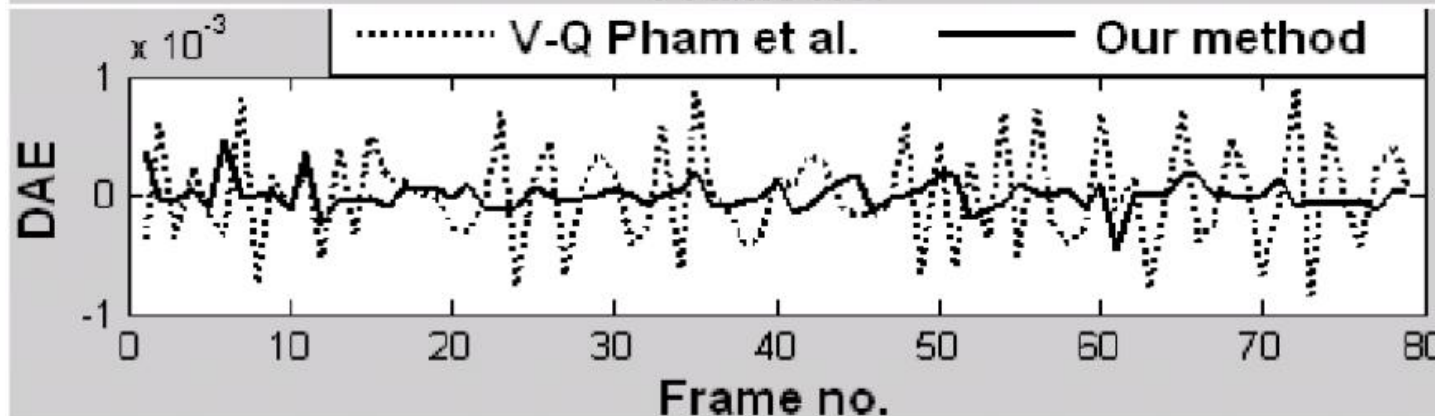
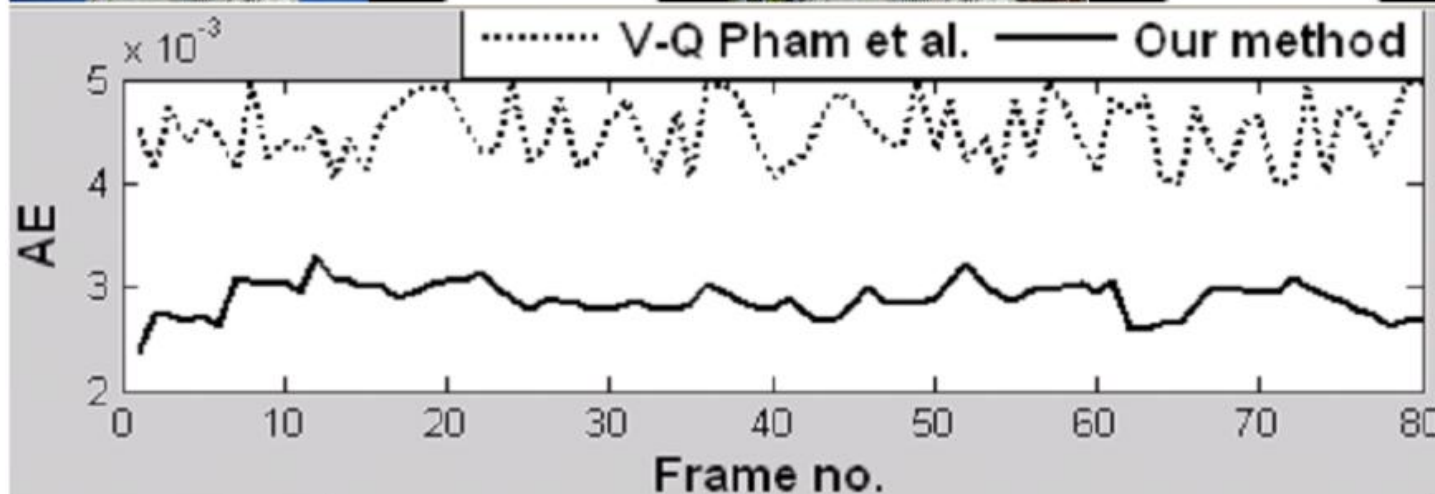
- Оценка качества работы

$$AE = \frac{\sum_{pixel\ i} |\text{resulting } \alpha_i - \text{true } \alpha_i|}{\text{number of pixels}}$$

- Оценка стабильности работы

$$DAE = (AE \text{ of } t + 1) - (AE \text{ of } t)$$

# Результаты работы





# Анализ алгоритма

---

- **Преимущества**
  - Уменьшение дрожания границ
  - Работа с trimap – хорошо интегрируется в имеющиеся наработки
- **Недостатки**
  - Скорость неизвестна. Вероятно, низкая





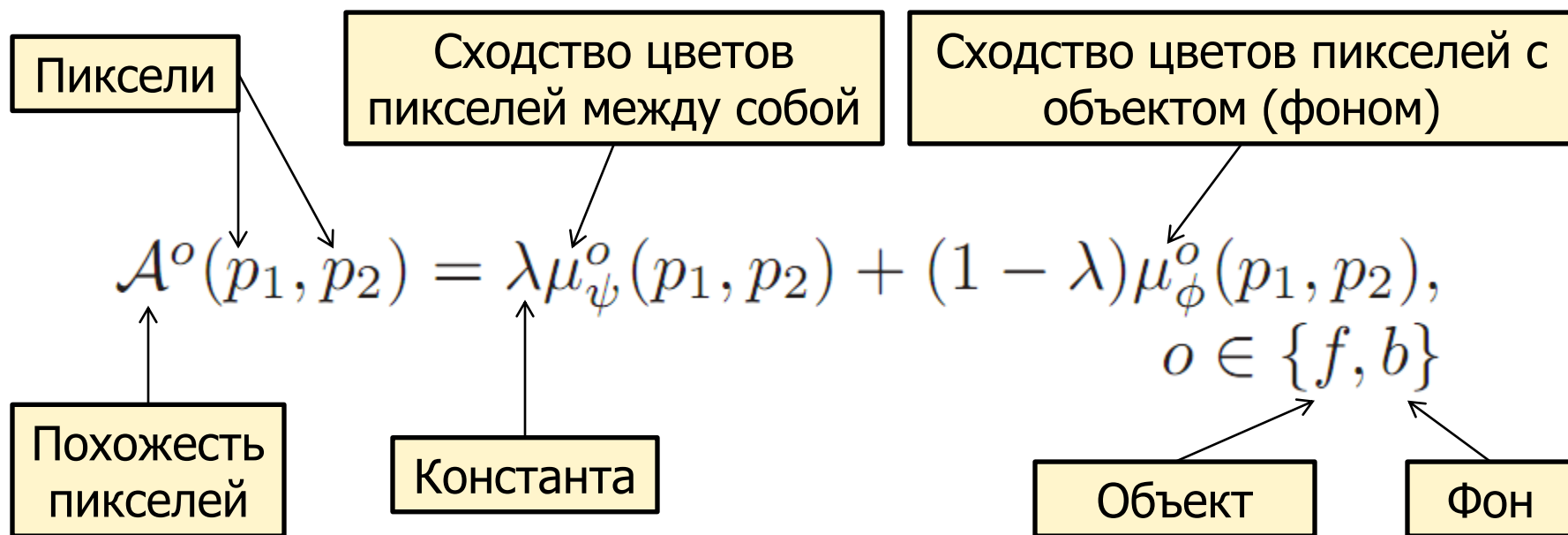
# Содержание

---

- Введение
- Closed-form image matting
- Temporally consistent video matting
- **FuzzyMatte**
- Свой метод
- Заключение

# FuzzyMatte

- Всё изображение – граф
- Вес ребра – «похожесть» соседних пикселей



# Взаимная схожесть пикселей

$$\mu_{\psi}^o(p_1, p_2) = \exp \left( -\frac{1}{2} [I(p_1) - I(p_2)]^T (\Sigma_{\max}^o)^{-1} [I(p_1) - I(p_2)] \right) .$$

$o \in \{f, b\}$

Цвета  
пикселей

Матрица ковариации  
гауссиана GMM с самой  
большой дисперсией

# Схожесть пикселей с объектом (фоном) (1)

$$S^f(p) = \max_i \exp \left( -\frac{1}{2} [I(p) - m_i^f]^T (\Sigma_i^f)^{-1} [I(p) - m_i^f] \right)$$

Сходство пикселя с объектом

Средний цвет  $i$ -го гауссиана GMM

Матрица ковариации  $i$ -го гауссиана GMM

- Для фона вычисления аналогичны
- Билатеральная префилтрация кадра (дисперсии 2 по расстоянию и 5 по цвету)

# Схожесть пикселей с объектом (фоном) (2)



$$W_{min}^f(p_1, p_2) = \min [S^f(p_1), S^f(p_2)]$$

$$W_{max}^f(p_1, p_2) = \max [S^b(p_1), S^b(p_2)]$$

$$\mu_{\phi}^f(p_1, p_2) = \begin{cases} 1 & \text{if } p_1 = p_2 \\ \frac{W_{min}^f(p_1, p_2)}{W_{min}^f(p_1, p_2) + W_{max}^f(p_1, p_2)} & \text{if } W_{min}^f(p_1, p_2) \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

# Нечёткая связность

Вес пути

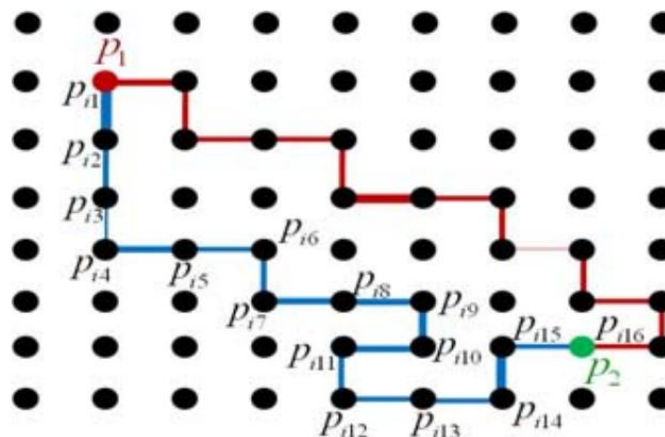
Путь

Элементы  
пути

$$str^o(\gamma(p_1 \rightarrow p_2)) = \min_{j=2 \dots, n_\gamma} A^o(q_{j-1}, q_j), \text{ for } o \in \{f, b\}$$

$$FC^o(p_1, p_2) = \max_{\text{all } \gamma} str^o(\gamma), \text{ for } o \in \{f, b\}$$

«Нечёткая связность»



# Иллюстрация FC



Original image



FC value

# Свойства FC

- Рефлексивность  $\mathcal{FC}(p, p) = 1$
- Транзитивность  $\mathcal{FC}(p_1, p_2) = \max_{p \in \Omega, p \neq p_1, p \neq p_2} \min(\mathcal{FC}(p_1, p), \mathcal{FC}(p, p_2))$
- Симметричность  $\mathcal{FC}(p_1, p_2) = \mathcal{FC}(p_2, p_1)$
- Обобщение для множеств

$$\mathcal{FC}^o(p) = \mathcal{FC}(\Omega^o, p) = \max_{p' \in \Omega^o} \mathcal{FC}^o(p', p), \quad o \in \{f, b\}$$



# Определение цветов и прозрачности из FC

- Прозрачность

$$\alpha(p) = \begin{cases} 1 & (\mathcal{FC}^f(p) > \nu_1) \& (\mathcal{FC}^b(p) < \nu_2) \\ 0 & (\mathcal{FC}^b(p) > \nu_1) \& (\mathcal{FC}^f(p) < \nu_2) \\ \frac{\mathcal{FC}^f(p)}{\mathcal{FC}^f(p) + \mathcal{FC}^b(p)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\nu_1 = 0.95 \text{ and } \nu_2 = 0.05$$

- Цвета – лучшая пара из GMM объекта и фона

# Вычисление FC

- Сведение к поиску кратчайшего пути
- Модифицированный алгоритм Дейкстры
- В случае trimap и волновой поиск хорошо отрабатает

# Примеры работы (1)



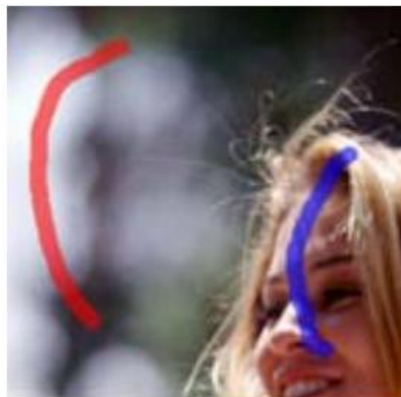
Исходный кадр  
и разметка

Прозрачность

Наложение

# Примеры работы (2)

Исходный кадр  
и разметка



Spectral matting



13 sec

BP matting



2.6 sec

FuzzyMatte



3.5 sec

# Примеры работы (3)

Исходный кадр  
и разметка



Spectral matting



13 sec

BP matting



2.6 sec

FuzzyMatte



0.8 sec

# Примеры работы (4)

Исходный кадр  
и разметка



Spectral matting



13 sec

BP matting



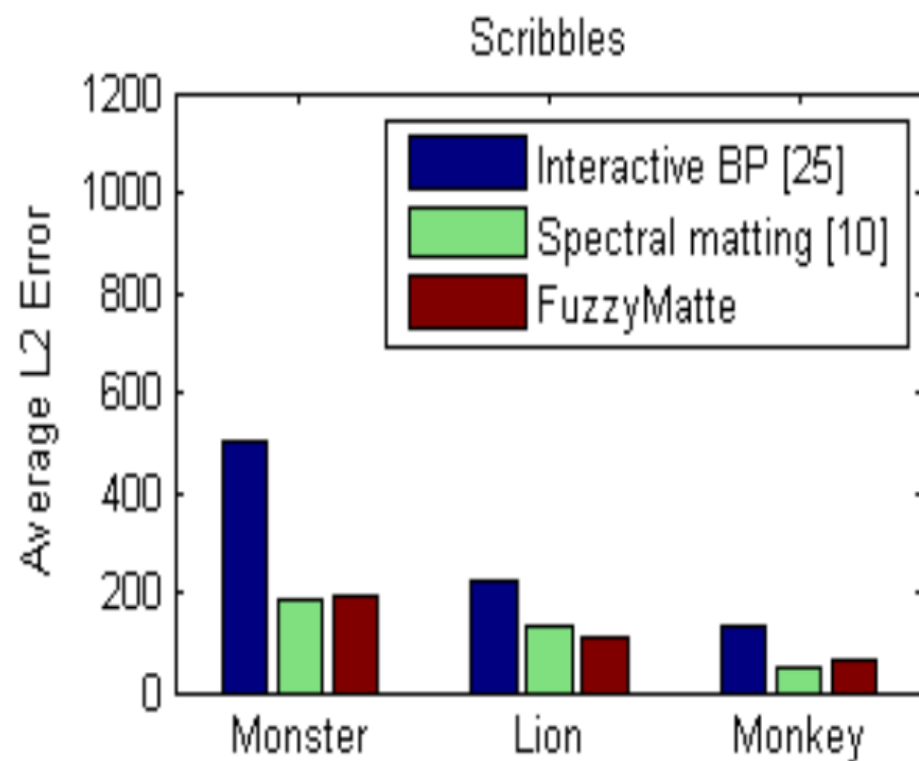
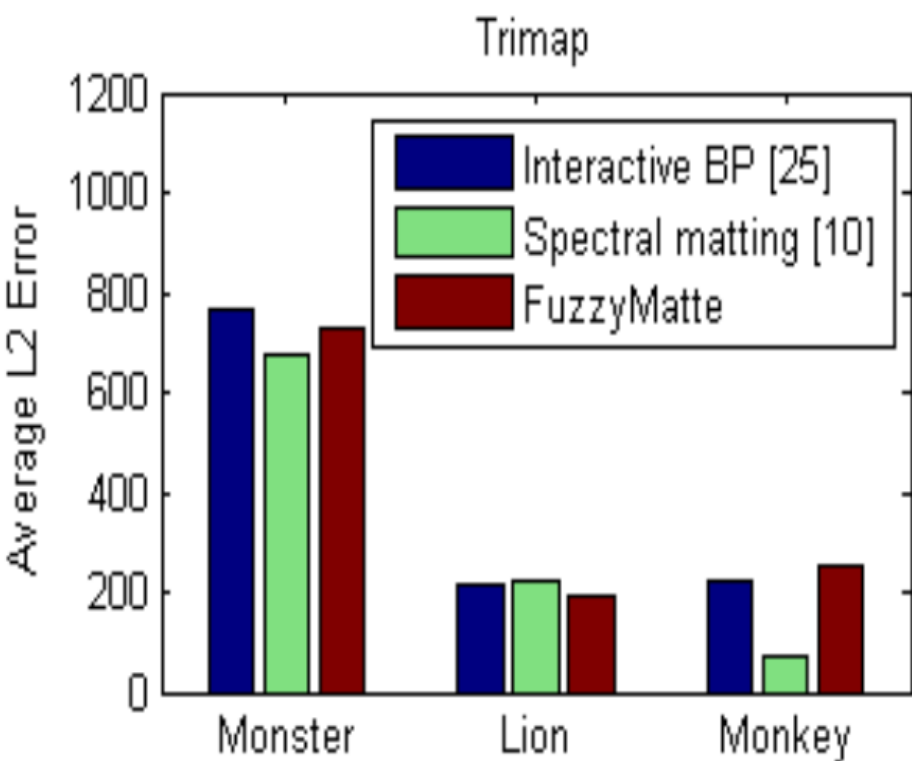
2.6 sec

FuzzyMatte



0.4 sec

# Сравнение с конкурентами





# Анализ алгоритма

---

- Преимущества
  - Потенциально высокая скорость
  - Мало затеканий
- Недостатки
  - Нет примеров работы на trimap





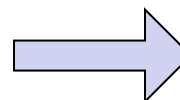
# Содержание

---

- Введение
- Closed-form image matting
- Temporally consistent video matting
- FuzzyMatte
- **Свой метод**
- Заключение

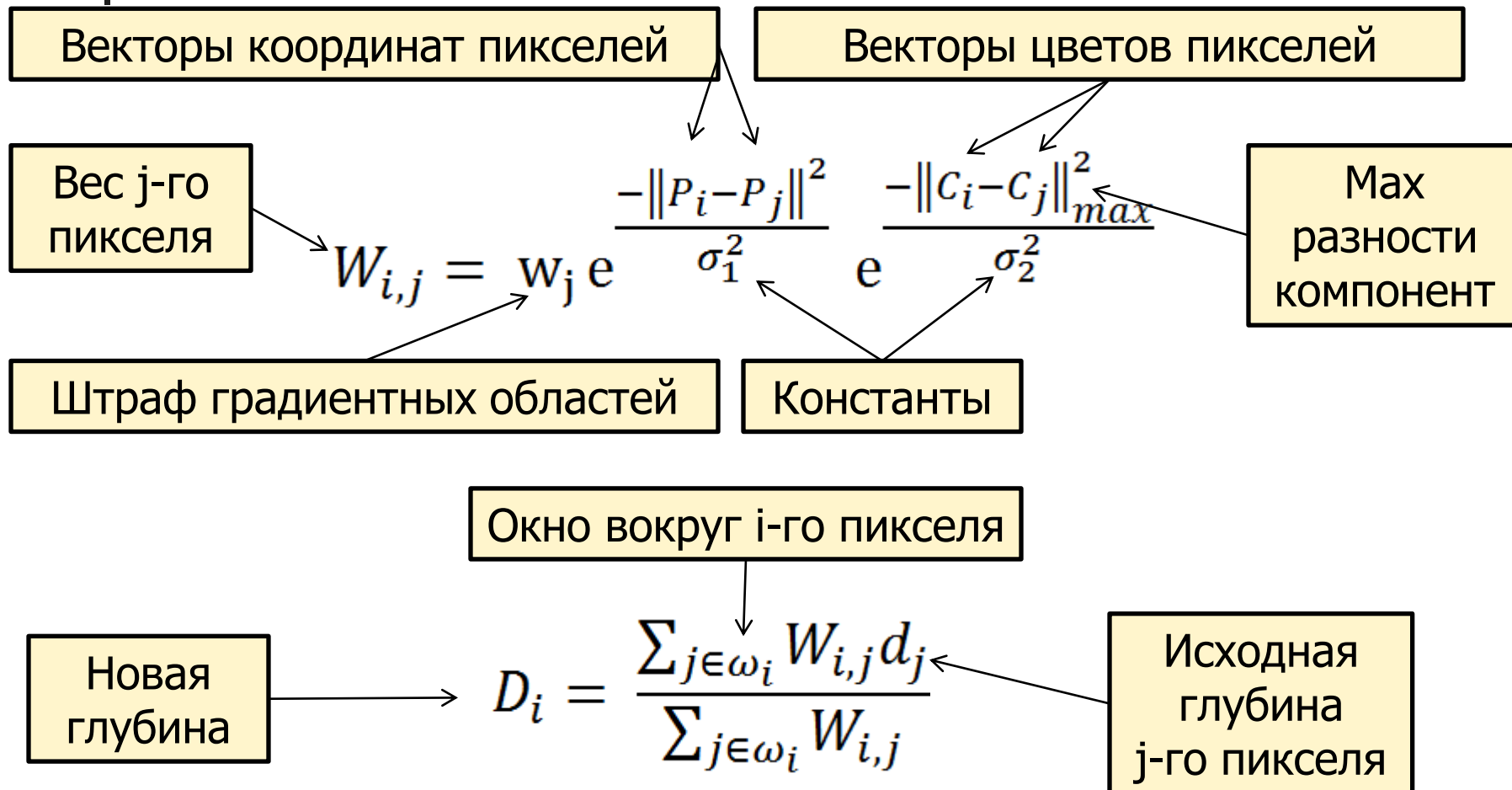
# Свой метод

- Основан на билатеральной фильтрации
- Цель 1 – восстановление резких границ глубины при размытой карте



- Цель 2 – коррекция некорректно проведённых границ по глубине (несоответствие цвету)

# Билатеральная фильтрация



# Примеры работы

Кадр



Глубина



Результат





# Анализ алгоритма

---

- Преимущества
  - Скорость
- Недостатки
  - Априорное предположение о доверии гладким областям
  - Слишком резкая граница
  - Стабильность во времени не гарантируется



# Содержание

---

- Введение
- Closed-form image matting
- Temporally consistent video matting
- FuzzyMatte
- Свой метод
- **Заключение**



# Список литературы

---

1. A. Levin, D. Lischinski, and Y. Weiss, "A Closed-Form Solution to Natural Image Matting", presented at IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 2008, pp.228-242.
2. Z. Tang, Z. Miao, and Y. Wan, "Temporally consistent video matting based on bilayer segmentation", in Proc. ICME, 2010, pp.370-375.
3. Y. Zheng, C. Kambhamettu, J. Yu, T. Bauer, and K. Steiner, "FuzzyMatte: A computationally efficient scheme for interactive matting", in Proc. CVPR, 2008.

# 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