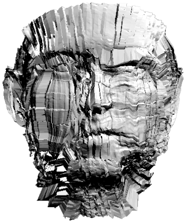
# ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗМЕЧЕННОЙ МОДЕЛИ ЛИЦА ПО СНИМКУ

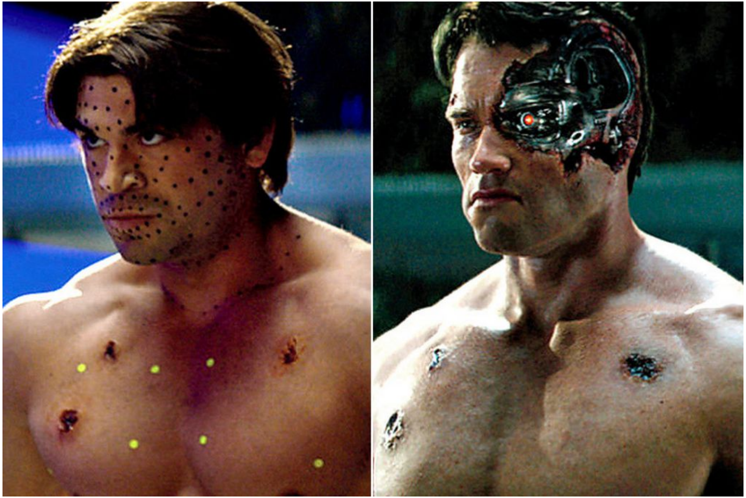
Валерий Крыгин



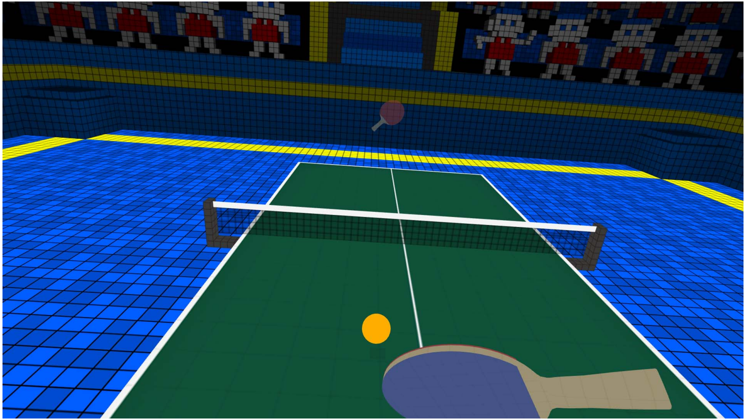
# Сегодня обсудим

1 Области применения
2 Идея метода
3 Порождающая модель лица
4 Постановка задачи
5 Фон
6 Разметка
7 Результаты

# 1 Области применения
## Кино без маркеров



# 1 Области применения
## VR с реалистичными аватарами



# 1 Области применения
## Приклеить соседку к тряпке

## 2 Идея метода
### Знаем, как выглядит и двигается голова

# 2 Идея метода
## Можем менять параметры сцены

# 2 Идея метода

## Умеем превращать модель в снимок

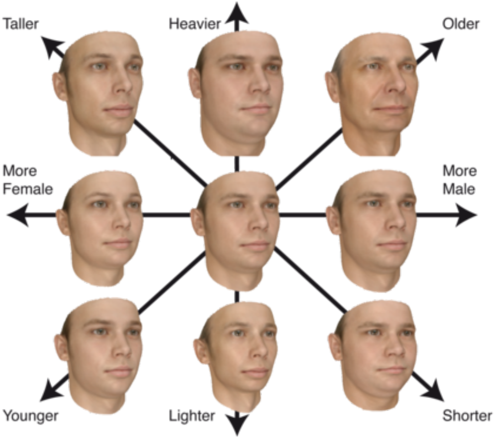
$= f^{\theta}($  $)$

# 2 Идея метода
## Действуем в обратном порядке

$q($  $)$ $=$ 

# 3 Порождающая модель лица
## BFM

$$G_i(\vec{x}; A) = A \cdot \Lambda_i \cdot \vec{x}$$

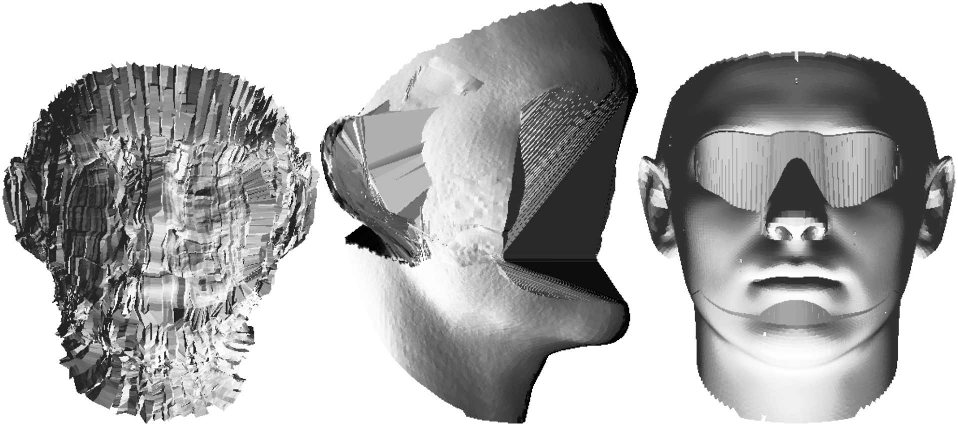


$$G_i\left(\vec{x}; A\right) = A \cdot \Lambda_i \cdot \vec{x}$$

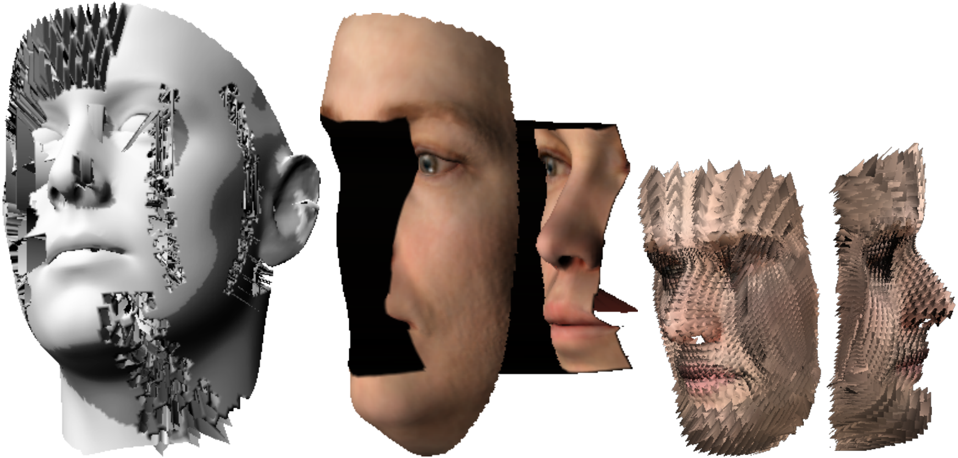
$$i \in I', \quad A \in \mathbb{R}^{4\times 4}, \quad \Lambda_i \in \mathbb{R}^{4\times n}, \quad \vec{x} \in \mathbb{R}^n$$

# 3 Порождающая модель лица

Транспонируйте правильно



# 3 Порождающая модель лица
. . . ну просили же



# 4 Постановка задачи
## Условия задачи

$$t_i = f_i^{\theta}\left(\vec{x}\right) + \zeta_i$$

# 4 Постановка задачи
## Терминология на плоскости

$I$ — множество пикселей снимка
$I'$ — множество пикселей головы
$t : I \to [0;1]^3$ — входящий снимок
$\theta^B : I \to [0;1]^3$ — фон
$\vec{x} \in \mathbb{R}^n$ — параметры формы модели
$f : \mathbb{R}^n \times \Theta \times I \to [0;1]^3$ — визуализация модели

# 4 Постановка задачи

## Распределение пар вход-выход на плоскости

$I$ — множество пикселей снимка
$I'$ — множество пикселей головы
$t : I \to [0;1]^3$ — входящий снимок
$\theta^B : I \to [0;1]^3$ — фон
$\vec{x} \in \mathbb{R}^n$ — параметры формы модели
$f : \mathbb{R}^n \times \Theta \times I \to [0;1]^3$ — визуализация модели
Регуляризация

$$\mathbb{P}_{\xi}^{\theta}\left(\vec{x}\right) = \prod_{i=1}^{n} \frac{\exp\left(-\frac{x_i^2}{2}\right)}{\sqrt{2 \cdot \pi}}$$

# 4 Постановка задачи

## Распределение пар вход-выход на плоскости

$I$ — множество пикселей снимка
$I'$ — множество пикселей головы
$t : I \to [0;1]^3$ — входящий снимок
$\theta^B : I \to [0;1]^3$ — фон
$\vec{x} \in \mathbb{R}^n$ — параметры формы модели
$f : \mathbb{R}^n \times \Theta \times I \to [0;1]^3$ — визуализация модели
Регуляризация

$$\mathbb{P}_\xi^\theta(\vec{x}) = \prod_{i=1}^{n} \frac{\exp\left(-\frac{x_i^2}{2}\right)}{\sqrt{2 \cdot \pi}}$$

Вероятность предъявленного плоского снимка

$$\mathbb{P}_\eta^\theta(t \mid \vec{x}) = \prod_{i \in I \setminus I'} \frac{\exp\left\{-\frac{\left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2}{2 \cdot \sigma^2}\right\}}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \cdot \prod_{i \in I'} \frac{\exp\left\{-\frac{\left\|f_i^\theta(\vec{x}) - t_i\right\|^2}{2 \cdot \sigma^2}\right\}}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}}$$

# 4 Постановка задачи

## Распределение пар вход-выход в пространстве

$I$ — множество вершин снимка
$I'$ — множество вершин головы
$t : I \to \mathbb{R}^4$ — входящий снимок
$\theta^B : I \to \mathbb{R}^4$ — фон
$\vec{x} \in \mathbb{R}^n$ — параметры формы модели
$A \in \mathbb{R}^{4\times4}$ — обратимая матрица
$\Lambda_i \in \mathbb{R}^{4\times n}$ — матрица коэффициентов
Регуляризация

$$\mathbb{P}_\xi^\theta(\vec{x}) = \prod_{i=1}^{n} \frac{\exp\left(-\frac{x_i^2}{2}\right)}{\sqrt{2\cdot\pi}}$$

Вероятность предъявленного трёхмерного снимка

$$\mathbb{P}_\eta^\theta(t \mid \vec{x}) = \prod_{i\in I\setminus I'} \frac{\exp\left\{-\frac{\left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2}{2\cdot\sigma^2}\right\}}{\sqrt{2\cdot\pi\cdot\sigma^2}} \cdot \prod_{i\in I'} \frac{\exp\left\{-\frac{\|A\cdot\Lambda_i\cdot\vec{x} - t_i\|^2}{2\cdot\sigma^2}\right\}}{\sqrt{2\cdot\pi\cdot\sigma^2}}$$

$$\mathbb{P}^{\theta}\left(\vec{x} \mid t\right) \to \max_{\vec{x}}$$

## Максимизация апостериорной вероятности + ОМП

$$\mathbb{P}^{\theta}\left(\vec{x} \mid t\right) \to \max_{\vec{x},\theta}$$

# 4 Постановка задачи
## Итоговая задача на плоскости

$$E_{2D}\left(\vec{x}, t, \theta\right) = \sigma^2 \cdot \|\vec{x}\|^2 + \sum_{i \in I \setminus I'} \left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2 + \sum_{i \in I'} \left\|f_i^\theta\left(\vec{x}\right) - t_i\right\|^2$$

$I$ — множество пикселей снимка
$I'$ — множество пикселей головы
$t : I \to [0;1]^3$ — входящий снимок
$\theta^B : I \to [0;1]^3$ — фон
$\vec{x} \in \mathbb{R}^n$ — параметры формы модели
$f : \mathbb{R}^n \times \Theta \times I \to [0;1]^3$ — визуализация модели

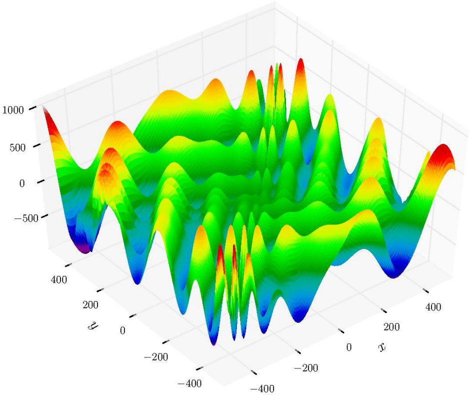
# 4 Постановка задачи

## Итоговая задача в пространстве

$$E_{3D}(\vec{x}, t, \theta) = \sigma^2 \cdot \|\vec{x}\|^2 + \sum_{i \in I \setminus I'} \left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2 + \sum_{i \in I'} \|A \cdot \Lambda_i \cdot \vec{x} - t_i\|^2$$

$I$ — множество вершин снимка
$I'$ — множество вершин головы
$t : I \to \mathbb{R}^4$ — входящий снимок
$\theta^B : I \to \mathbb{R}^4$ — фон
$\vec{x} \in \mathbb{R}^n$ — параметры формы модели
$A \in \mathbb{R}^{4\times4}$ — обратимая матрица
$\Lambda_i \in \mathbb{R}^{4\times n}$ — матрица коэффициентов модели

# 4 Постановка задачи
## Задача невыпуклой оптимизации



## 5 Фон
### Разобьём энергию

$$\begin{cases} E\left(\vec{x}^j\right) = E'\left(\vec{x}^j\right) + \sum\limits_{i \in I \setminus I_j} \dfrac{\left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2}{\sigma^2} \\ E'\left(\vec{x}^j\right) = \sum\limits_{i \in I_j} \dfrac{\left\|f_i^\theta\left(\vec{x}^j\right) - t_i\right\|^2}{\sigma^2} + \left\|\vec{x}^j\right\|^2 \end{cases}$$

## 5 Фон
Сравним энергию на двух соседних итерациях

$$E\left(\vec{x}^{j}\right) > E\left(\vec{x}^{j+1}\right)$$

$$E'\left(\vec{x}^{j}\right) - E'\left(\vec{x}^{j+1}\right) > \sum_{i \in I_j \setminus I_{j+1}} \frac{\left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2}{\sigma^2} - \sum_{i \in I_{j+1} \setminus I_j} \frac{\left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2}{\sigma^2}$$

## 5 Фон
Результат сравнения — случайная величина

$$\begin{cases} \sum\limits_{i \in \boldsymbol{I}_j \setminus \boldsymbol{I}_{j+1}} \frac{\left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2}{\sigma^2} - \sum\limits_{i \in \boldsymbol{I}_{j+1} \setminus \boldsymbol{I}_j} \frac{\left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2}{\sigma^2} \sim \zeta_1 - \zeta_2 \\ \zeta_1 \sim \chi^2_{|\boldsymbol{I}_j \setminus \boldsymbol{I}_{j+1}|} \\ \zeta_2 \sim \chi^2_{|\boldsymbol{I}_{j+1} \setminus \boldsymbol{I}_j|} \end{cases}$$

# 5 Фон
## Решение — сегментация

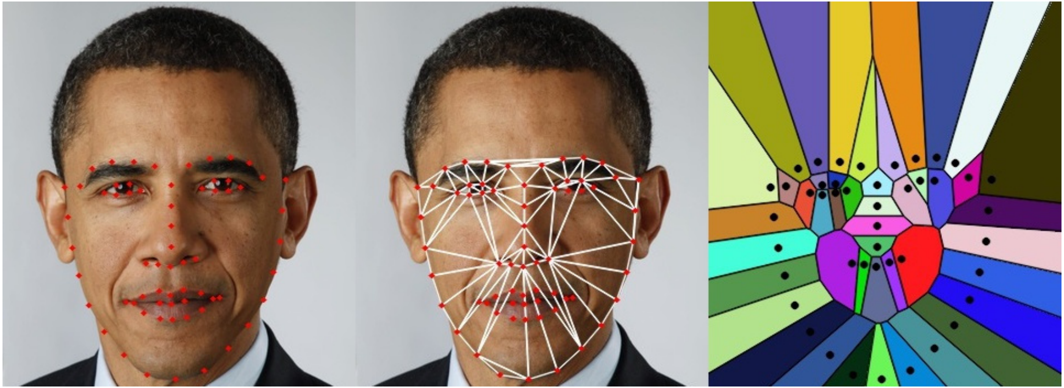
# 6 Разметка
Как найти $t_i$?

$$E_{2D}(\vec{x}, t, \theta) = \sigma^2 \cdot \|\vec{x}\|^2 + \sum_{i \in I \setminus I'} \left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2 + \sum_{i \in I'} \left\|f_i^\theta(\vec{x}) - t_i\right\|^2$$

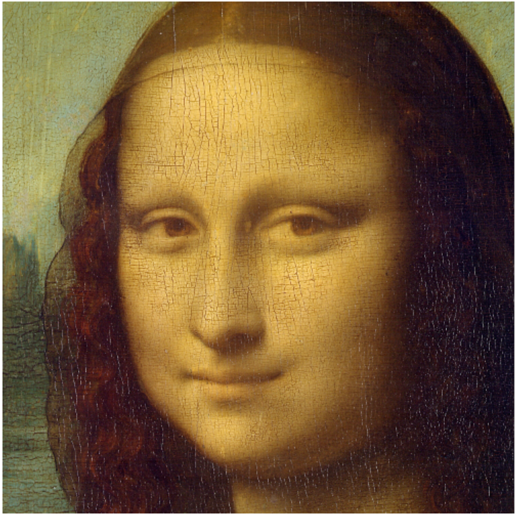
$$E_{3D}(\vec{x}, t, \theta) = \sigma^2 \cdot \|\vec{x}\|^2 + \sum_{i \in I \setminus I'} \left\|\theta_i^B - t_i\right\|^2 + \sum_{i \in I'} \|A \cdot \Lambda_i \cdot \vec{x} - t_i\|^2$$

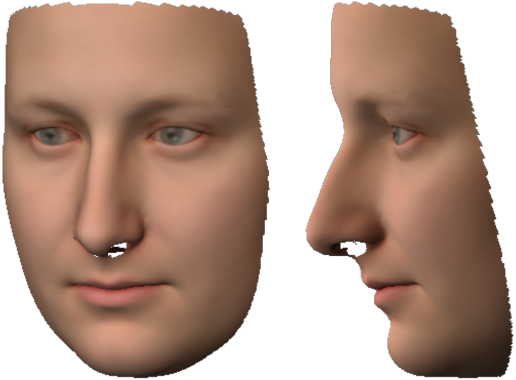
## 6 Разметка
### Сколько нужно опорных точек?

Для определения матрицы $A$ достаточно $3 \cdot (n+1)+1$ опорных точек.
Для определения формы $\vec{x}$ необходимо $\frac{n}{3}$ опорных точек.



# 7 Результаты
## Мона Лиза





# 7 Результаты
## Я

# Восстановление размеченной модели лица по снимку
## Коротко о главном

- Основная идея на плоскости — анализ посредством синтеза
- Задача разметки и задача поиска лучшей модели по отдельности решаются легко, а вместе [пока что] нет
- Играетесь с масштабом — помните о фоне
- Максимизация апостериорной вероятности — не единственный выход

## Спасибо за внимание!

Спрашивайте, не стесняйтесь

valeriy.krygin at gmail.com

facebook.com valerij.krygin