

Сравнение изображений картин по информативным фрагментам

Мурашов Д.М.¹ , Березин А.В.², Иванова Е.Ю. ²

¹) Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, Москва

²) Государственный Исторический музей, Москва
d_murashov@mail.ru , berezin_aleks@mail.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 12-07-00668.

Международная конференция
<<ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ>>
4-11 октября 2014 г.
Греция, о. Крит

Известные подходы

Основная идея - сравнение изображений аутентичных картин и исследуемой картины по признакам, характеризующим индивидуальность художника.

С индивидуальностью художника эксперты ассоциируют особенности мазков кисти.

Два основных подхода:

1. Переборное сравнение квадратных фрагментов.
2. Сравнение изображений по признакам отдельных мазков.

Признаки:

1. Вейвлет-признаки.
2. Энергия откликов ориентированных фильтров Габора.
3. Признаки на основе эмпирических мод (EMD).
4. Геометрические признаки мазков.
5. Прочие.

Формулировка задачи

Пусть $U_j, j = 1, 2, \dots, J$ - изображения картин J авторов, $U : R^2 \rightarrow R$.

Пусть фрагмент u_j^i типа i изображения U_j представлен S - вектором

признаков $x_j^i = [x_{j1}^i, x_{j2}^i, \dots, x_{js}^i]^T$, $x_{js}^i = \gamma_s(u_j^i)$, $i = 1, 2, \dots, I$,

$\gamma_s : R^2 \times R \rightarrow R$, $s = 1, 2, \dots, S$.

Различие изображений U_j и U_k :

$$1) D_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^I (D_{jk}^i)^2}, D_{jk}^i = \sqrt{\sum_{s=1}^S (d(x_{js}^i, x_{ks}^i))^2};$$

$$2) D_{jk} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (D_{jk}^i), D_{jk}^i = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S d(x_{js}^i, x_{ks}^i).$$

Пусть $U_l, l = J + 1$, - изображение с неизвестной атрибуцией.

Требуется найти изображение U_m ,

$$U_m = \arg \min_j \{D_{jl}(U_j, U_l)\}, j \in [1, J],$$

$$D_{ml}(U_m, U_l) < T.$$

Предлагаемый подход

Требования:

- желательно использовать легко интерпретируемые признаки;
- для сравнения картин рекомендуется использовать группу мазков, формирующих какую-либо деталь.

Решение задачи:

- (а) поиск однотипных фрагментов на изображениях;
- (б) вычисление признаков;
- (в) сравнение найденных однотипных фрагментов;
- (г) заключение о схожести изображений.

Признаковое описание.

1. Локальная ориентация хребтов фрагментов изображения.
2. Признаки на основе структурного тензора (локальная ориентация простых окрестностей).

Исследуемые изображения

Изображения картин



Однотипные фрагменты



Типы фрагментов



Лоб



Нос



Щека

Признаки: Локальная ориентация хребтов красочного слоя

Пусть изображение описывается функцией $f \in C^2(\mathbb{R}^2, \mathbb{R})$, $Df \neq 0$,
 $Df = (f_x, f_y)^T$.

Пусть $N = Df / |Df|$, $T = Df^\perp / |Df|$, $Df^\perp = (-f_y, f_x)^T$.

Свойства рельефа изображения в точке определяются матрицей

$$-\frac{1}{|Df|} \begin{bmatrix} N^T D^2 f N & N^T D^2 f T \\ T^T D^2 f N & T^T D^2 f T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g & \mu \\ \mu & k \end{bmatrix},$$

где $g = -N^T (D^2 f / |Df|) N$; $\mu = -T^T (D^2 f / |Df|) N$, $k = -T^T D^2 f T$.

В точках, образующих хребты f , выполняются условия (Eberly D.

1996): $\mu = 0$, $k > \max\{0, g\}$.

Направления осей инерции связных компонент хребтов:

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{2,0} - \mu_{0,2}},$$

где $\mu_{i,j}$ - компоненты тензора инерции объекта $J = \begin{bmatrix} \mu_{2,0} & -\mu_{1,1} \\ -\mu_{1,1} & \mu_{0,2} \end{bmatrix}$.

Признак на основе структурного тензора

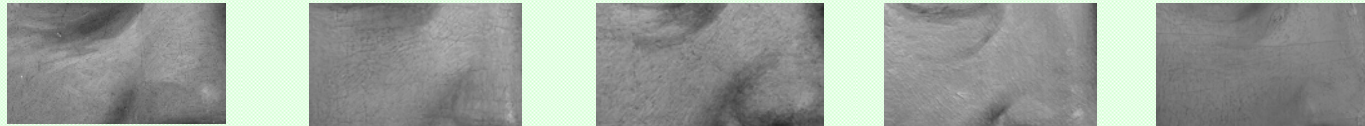
Структурный тензор в точке x :

$$\mu_f(x) = \int_{p \in R^2} Df(p)(Df(p))^T w(x-p) dp,$$

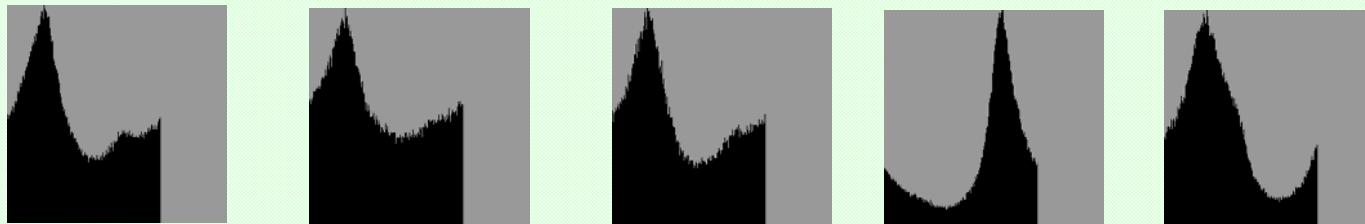
где $w(x-p)$ - оконная функция Гаусса.

Признак:

- локальная ориентация : $\varphi = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\mu_{f1,1}}{\mu_{f2,0} - \mu_{f0,2}}$.



Фрагменты “нос”



Гистограммы ориентации простых окрестностей

Процедура извлечения признаков

Локальная ориентация хребтов красочного слоя:

- поворот и масштабирование изображений;
- расширение динамического диапазона;
- формирование маски информативного фрагмента;
- формирование маски кракелюра;
- комбинирование масок;
- наложение результирующей маски на изображение;
- размытие фильтром Гаусса;
- выделение хребтов на изображении;
- дефрагментация хребтов;
- фильтрация связанных компонент хребтов;
- вычисление угла ориентации связанных компонент хребтов.

Процедура извлечения признаков

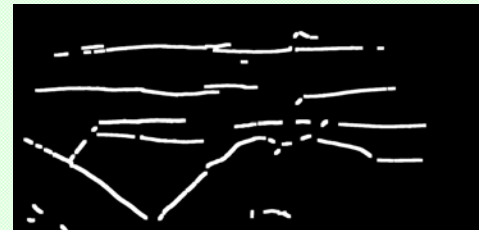
Локальная ориентация простых окрестностей:

- поворот и масштабирование изображений;
- расширение динамического диапазона;
- прореживающая выборка;
- формирование маски информативного фрагмента;
- формирование маски кракелюра;
- комбинирование масок;
- размытие фильтром Гаусса;
- наложение результирующей маски на изображение;
- вычисление угла ориентации простых окрестностей.

Вычисление признаков

Формирование маски кракелюра:

- преобразование “top hat”;
- адаптивная пороговая бинаризация;
- интерактивный отбор связанных компонент;
- операция морфологического открытия;
- операция дилатации.



Сравнение изображений картин

Теоретико-информационная мера различия фрагментов:

$$d(x_{js}^i, x_{ks}^i) = \frac{1}{2} \left(\sum_{\psi \in A} p_{\Psi}(\psi) \log \left(\frac{p_{\Psi}(\psi)}{q_{\Psi}(\psi)} \right) + \sum_{u \in A} q_{\Psi}(\psi) \log \left(\frac{q_{\Psi}(\psi)}{p_{\Psi}(u)} \right) \right),$$

где $p_{\Psi}(\psi)$ и $q_{\Psi}(\psi)$ - вероятности того, что углы ориентации на сравниваемых фрагментах u_j^i, u_k^i принимают значение ψ ; A - алфавит Ψ .

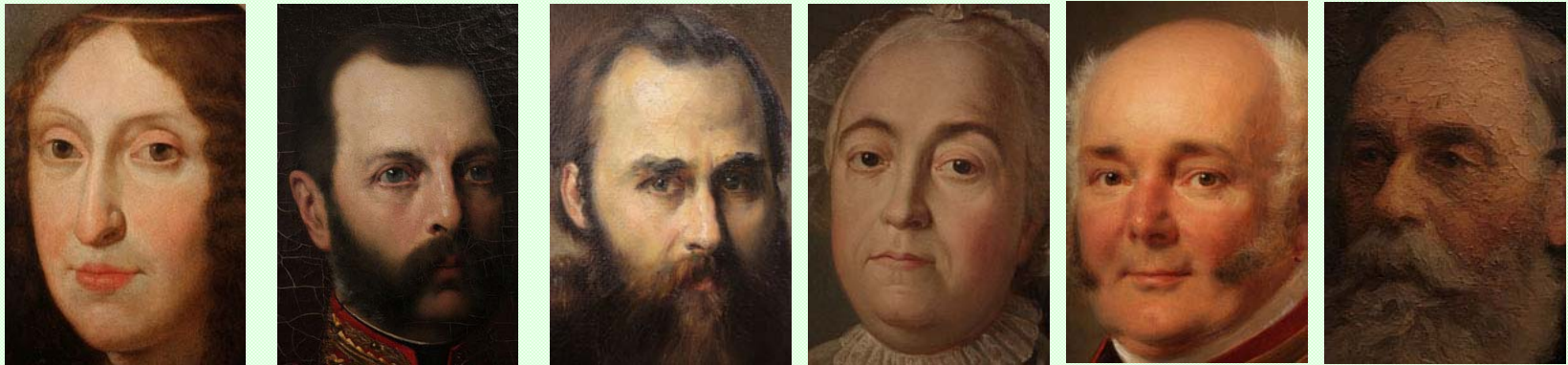
Различие изображений:

$$1) D_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^I (D_{jk}^i)^2}, D_{jk}^i = \sqrt{\sum_{s=1}^S (d(x_{js}^i, x_{ks}^i))^2};$$

$$2) D_{jk} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (D_{jk}^i), D_{jk}^i = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S d(x_{js}^i, x_{ks}^i).$$

Вычислительный эксперимент

Изображения исследуемых картин:

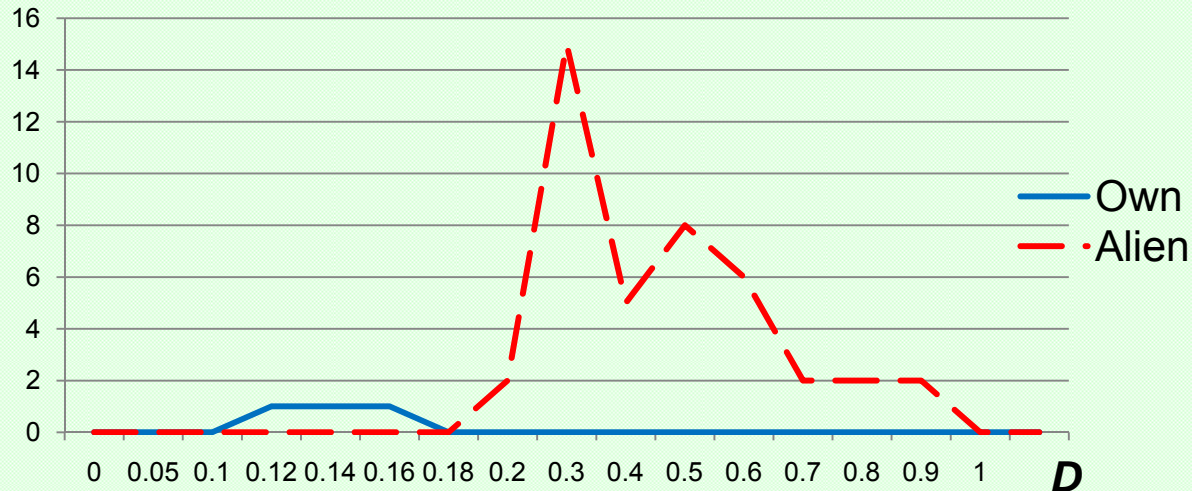


Результаты сравнения изображений

Расстояние:

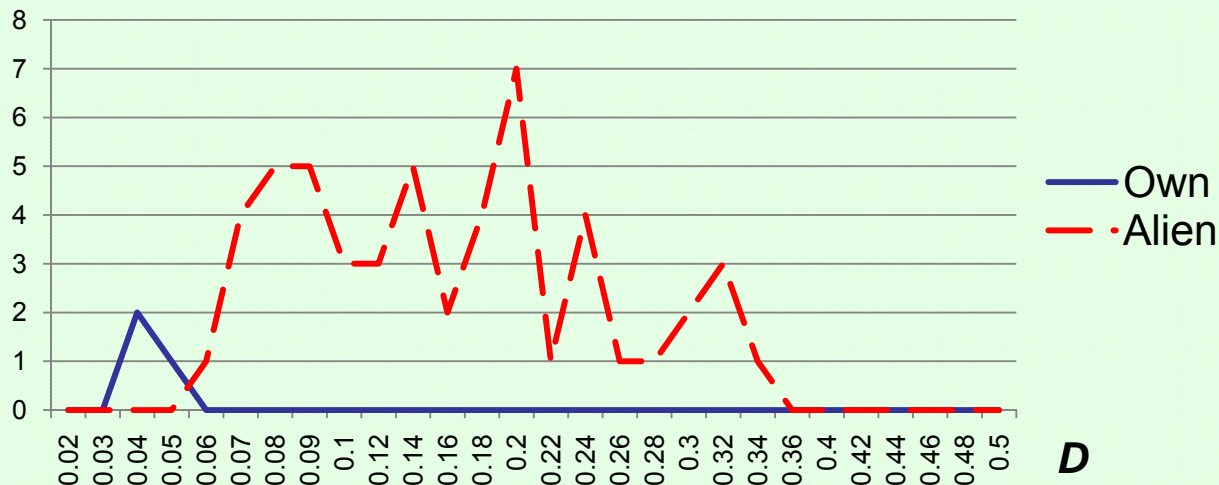
$$D_{jk} = \sqrt{\sum_i (D_{jk}^i)^2}$$

f



$$D_{jk} = \frac{\sum_i D_{jk}^i}{I}$$

f



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассмотрена задача сравнения изображений картин по информативным фрагментам.
2. В качестве признаков используются (а) гистограммы углов ориентации хребтов полутоновых изображений фрагментов; (б) гистограммы углов ориентации простых окрестностей.
3. Разработана процедура извлечения признаков.
4. Предложена методика сравнения изображений картин по значениям теоретико-информационной меры различия фрагментов.
5. Разработанные процедура и методика протестированы на изображениях одиннадцати картин XVIII-XIX веков.
6. Картины сравнивались по 1 – 5 информативным фрагментам.
7. Результаты экспериментов показали различия картин по объективным характеристикам манеры исполнения авторами однотипных деталей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

8. Предложенные методики и процедуры могут применяться в качестве одного из видов технико-технологических исследований в атрибуции картин.

Перспективное направление исследований:

- расширение признакового описания картин;
- увеличение массива исследуемых изображений и тестирование предложенных методик и процедур на большем объеме данных.