

19-я Всероссийская конференция с международным участием
«Математические методы распознавания образов»



26–29 ноября 2019, г. Москва, РАН



Метод сравнения бинарных растровых изображений, содержащих дыры, с учетом информации об осях симметрии

**Федотова С.А., Кушнир О.А.,
Середин О.С.**

kushnir-olesya@rambler.ru, oseredin@yandex.ru,
fedotova.sonya@gmail.com

*Тулский государственный университет
Лаборатория анализа данных*



Задача прямого сравнения бинарных растровых изображений как основа классификации

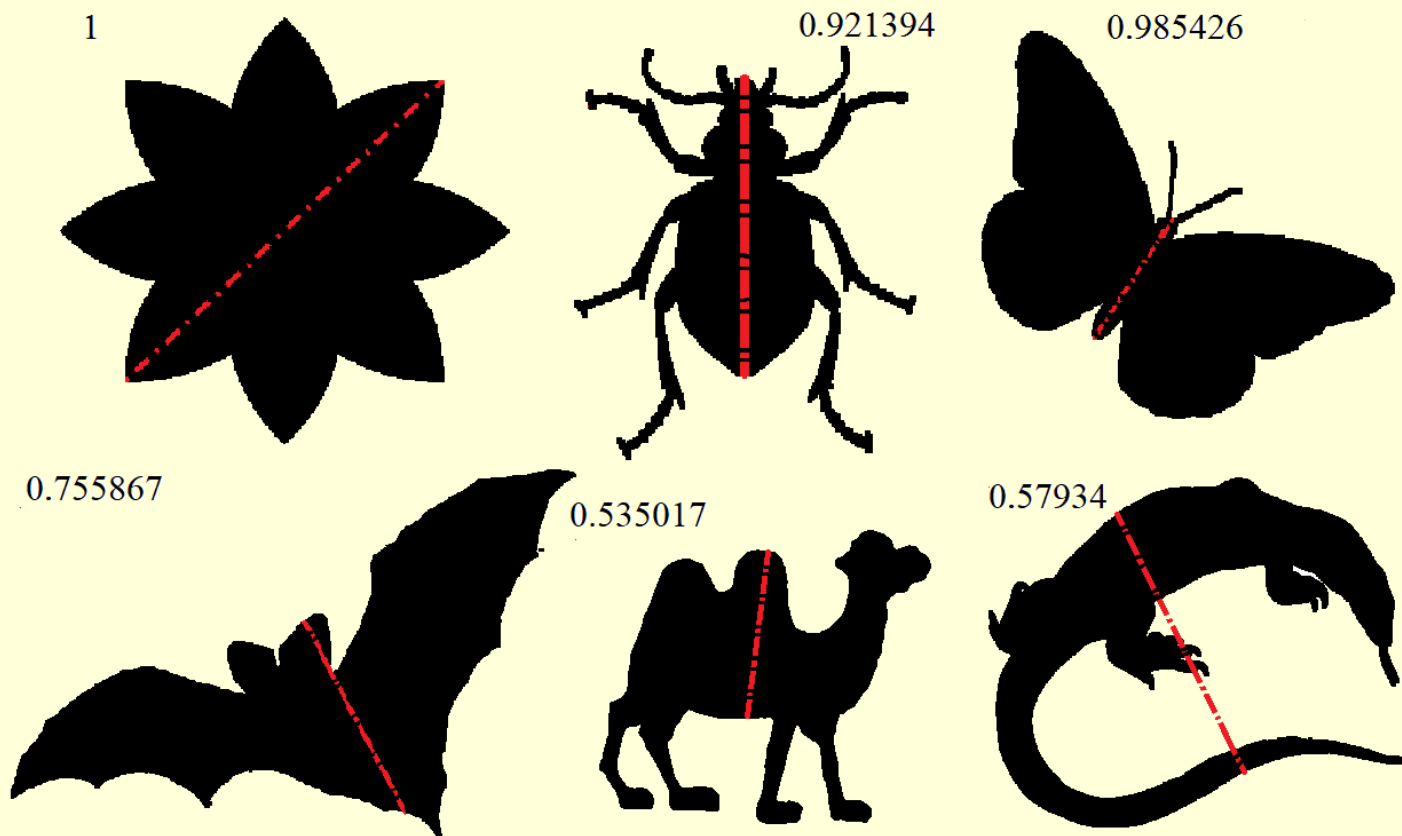
Прикладные задачи:

- Определение вида листьев лекарственных растений
- Определение ареала произрастания растений
- Анализ условий произрастания растений
- Обнаружение опухолей

Проблемы: прямое сравнение затруднено необходимостью решения подзадачи совмещения, масштабирования и поворота сравниваемых изображений.

Предлагается метод сравнения двух изображений с использованием информации об осях симметрии фигур.

Зеркальная симметрия



При анализе форм бинарных изображений можно заметить, что ряду объектов как искусственного, так и природного происхождения присуща зеркальная симметрия. Очевидно, что реальные изображения редко бывают идеально симметричны. Поэтому представляет интерес задача поиска приближенной симметрии и оценки степени симметричности изображения.³

Методы быстрого приближенного поиска оси зеркальной симметрии бинарных изображений

Задача определения симметрии и нахождения меры симметричности для бинарных растровых изображений известна, но существует достаточно небольшое число эффективных методов для ее решения, основывающихся на:

- 1) Параметрическом представлении контура и его разложении в ряд Фурье [1, 2]
- 2) Представлении контура функцией поворота [3],
- 3) Представлении контура критическими точками [4],

Все перечисленные методы базируются на известных алгоритмах вычисления различия (или сходства) форм фигур

1. **van Otterloo P. J.** A Contour-Oriented Approach to Digital Shape Analysis. PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands (1988).

2. **Mestetskiy L., Zhuravskaya A.** Method for Assessing the Symmetry of Objects on Digital Binary Images Based on Fourier Descriptor //International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2019. – Vol. 42. – №. 2/W12.

3. **Sheynin S., Tuzikov A., Volgin D.** Computation of Symmetry Measures for Polygonal Shapes. Computer Analysis of Images and Patterns. Springer Berlin Heidelberg. P. 183-190 (1999).

4. **Yang, X., Adluru, N., Latecki, L. J., Bai, X., Pizlo, Z.** Symmetry of shapes via selfsimilarity. Advances in Visual Computing. Springer Berlin Heidelberg. P. 561-570 (2008).

Методы быстрого приближенного поиска оси зеркальной симметрии бинарных изображений

Задача определения симметрии и нахождения меры симметричности для бинарных растровых изображений известна, но существует достаточно небольшое число эффективных методов для ее решения, основывающихся на:

- 4) Парном сравнении подцепочек скелетных примитивов [1];
- 5) Распределении электрического заряда по форме [2];
- 6) Гранично-скелетной функции [3].

Все перечисленные методы базируются на известных алгоритмах вычисления различия (или сходства) форм фигур

-
1. **Kushnir O., Fedotova S., Seredin O., Karkishchenko A.** Reflection Symmetry of Shapes Based on Skeleton Primitive Chains // Fifth International Conference, AIST 2016, Yekaterinburg, Russia, April 7-9, 2016, Revised Selected Papers, CCIS, Springer International Publishing Switzerland (2016)
 2. **Li Z. et al.** Robust symmetry detection for 2D shapes based on electrical charge distribution // JOURNAL OF INFORMATION & COMPUTATIONAL SCIENCE. – 2014. – Т. 11. – №. 9. – С. 2887-2894.
 3. **Niu D. et al.** A Novel Approach for Detecting Symmetries in Two-dimensional Shapes // JOURNAL OF INFORMATION & COMPUTATIONAL SCIENCE. – Т. 12. – №. 10. – С. 3915-3925.

Вычисление меры симметричности

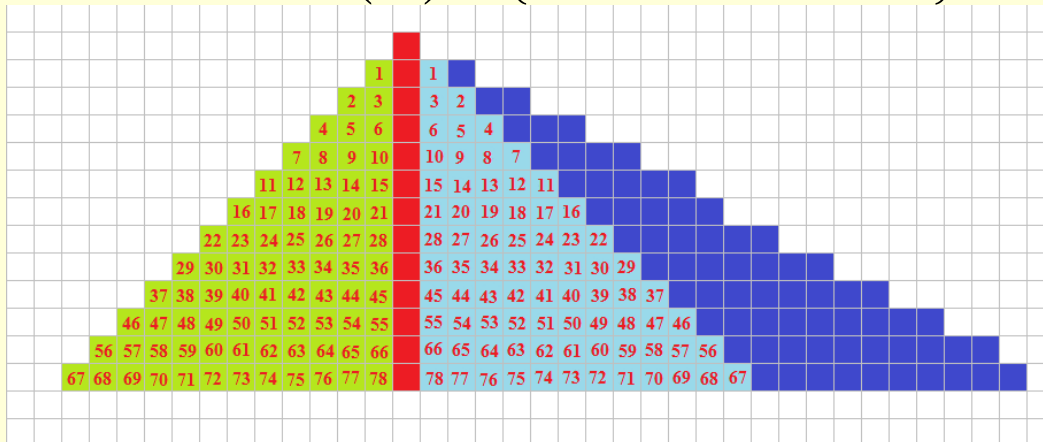
Мера симметричности на основе подобия Жаккарда (Танимото):

$$\mu_T(B) = \frac{|S(B) \cap S(B_r)|}{|S(B) \cup S(B_r)|} \quad 0 \leq \mu_T(B) \leq 1$$

B - бинарное изображение,

B_r - изображение, полученное отражением бинарного изображения B относительно прямой

$S(B)$ - множество пикселей изображения B , яркость которых равна 1
т.е. $S(B) = \{(i, j) \mid B(i, j) = 1\}$

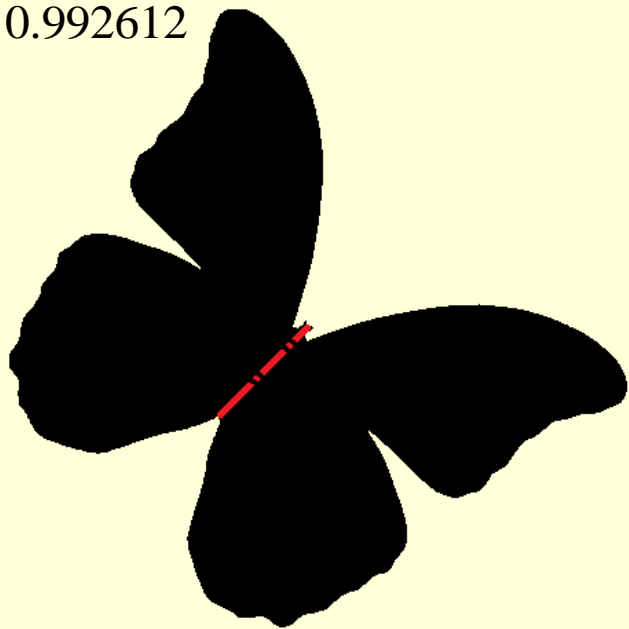


Пример вычисления меры Жаккара:

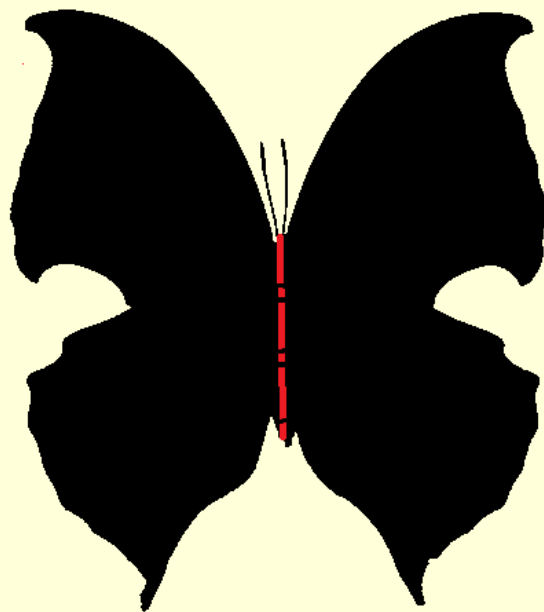
$$\mu_T(B) = \frac{|S(B) \cap S(B_r)|}{|S(B) \cup S(B_r)|} = \frac{67}{67 + 71} = \frac{67}{138} \approx 0.4855$$

Примеры изображений с осью симметрии и соответствующей ей мерой Жаккара

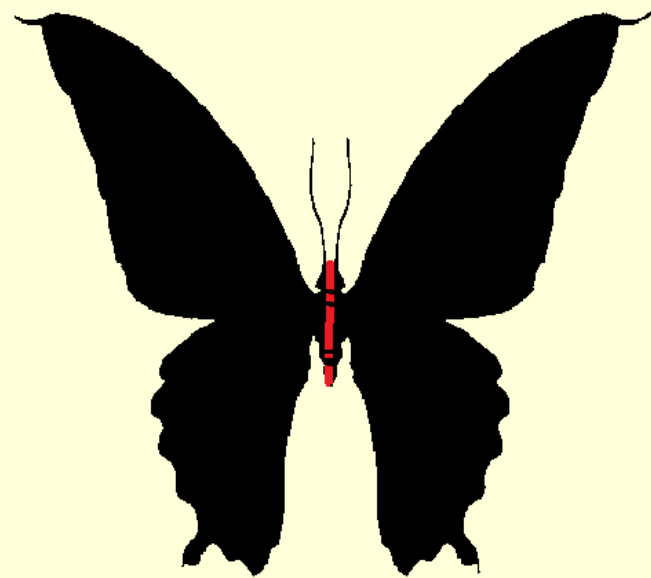
0.992612



0.974223



0.931115



Мера Жаккара:

$$\mu_T(B) = \frac{|S(B) \cap S(B_r)|}{|S(B) \cup S(B_r)|}$$

$$0 \leq \mu_T(B) \leq 1$$

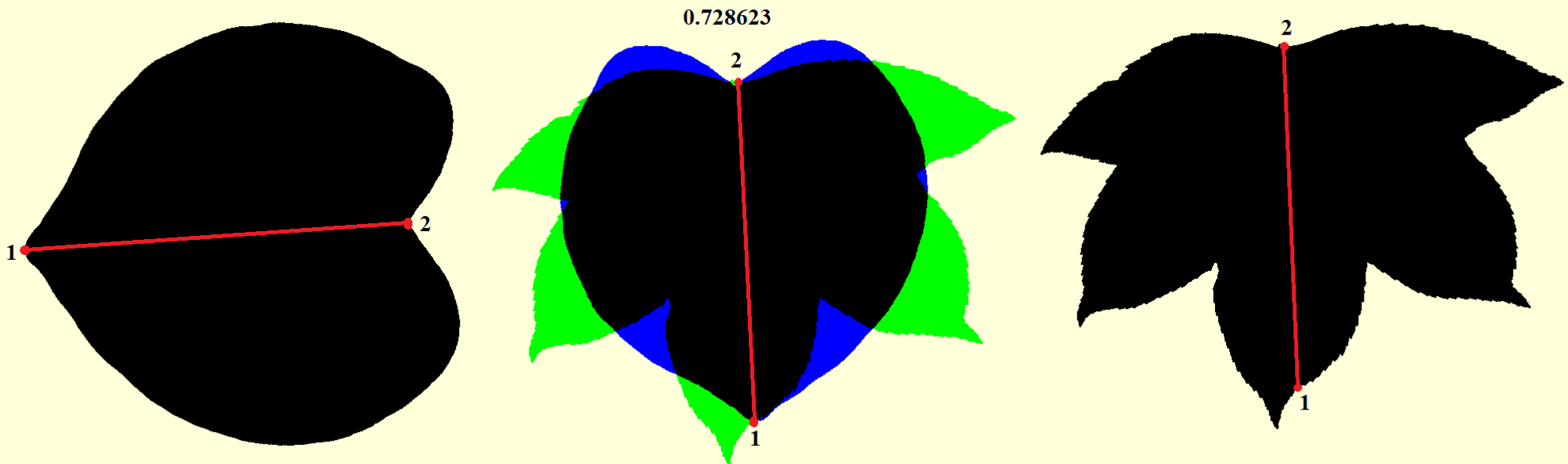
Алгоритмы поиска симметрии, основанные на вычислении меры Жаккара

Алгоритмы, основанные на вычислении подобия Жаккара:

- 1) Алгоритм полного перебора (точный алгоритм);
- 2) Оптимизация точного алгоритма с учетом полупериметров фигуры;
- 3) Оптимизация с учетом центра масс;
- 4) Алгоритмы уточнения оси симметрии, найденной скелетным методом;
- 5) Параллельная версия точного алгоритма;
- 6) Параллельная версия алгоритма уточнения.

-
1. **Kushnir O. et al.** Reflection symmetry of shapes based on skeleton primitive chains //International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts. – Springer, Cham, 2016. – P. 293-304.
 2. **Fedotova S., Seredin O., Kushnir O.** The Parallel Implementation of Algorithms for Finding the Reflection Symmetry of the Binary Images // The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. – Vol. 42. – P. 179.

Методы совмещения пары изображений с использованием информации об осях симметрии



Красные линии – оси симметрии изображений. Точки 1 и 2 – точки пересечения оси симметрии с контуром изображения.

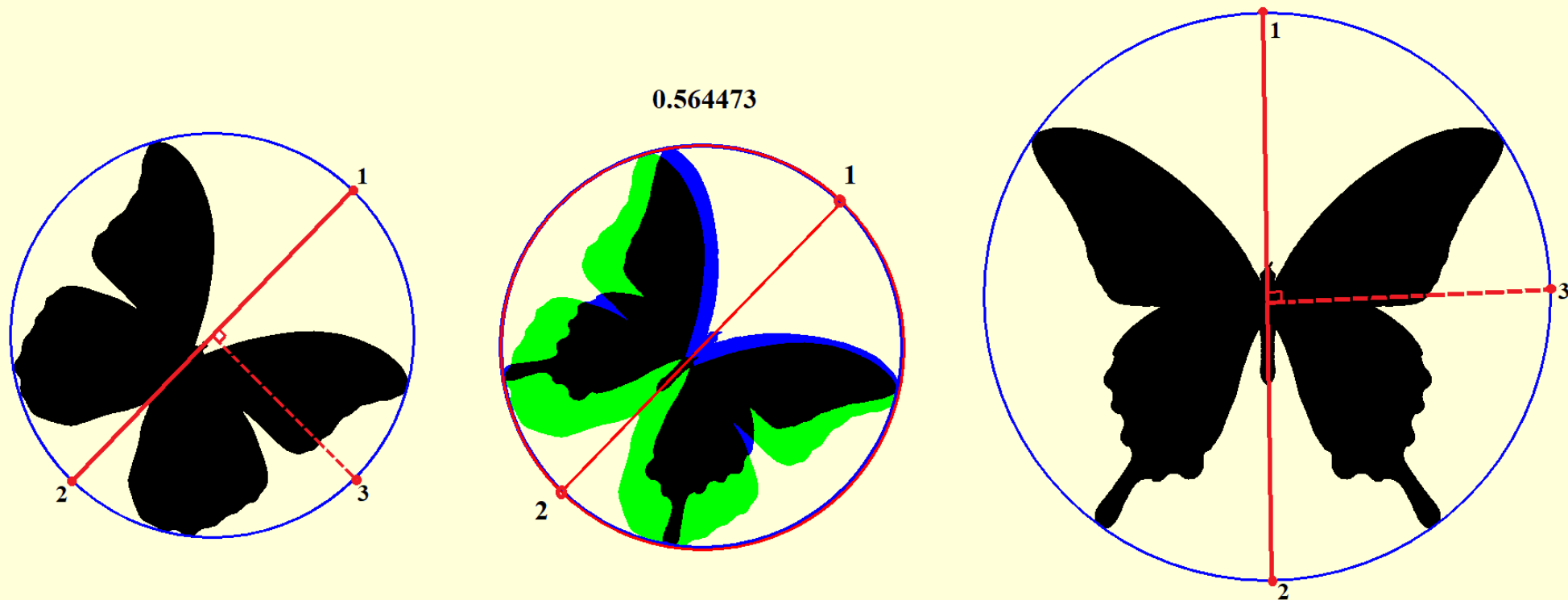
Черным цветом на центральном рисунке обозначена зона пересечения, **синим** и **зеленым** – не совпавшие области изображений.

Пример совмещения двух изображений по трем точкам (Алгоритм 1)



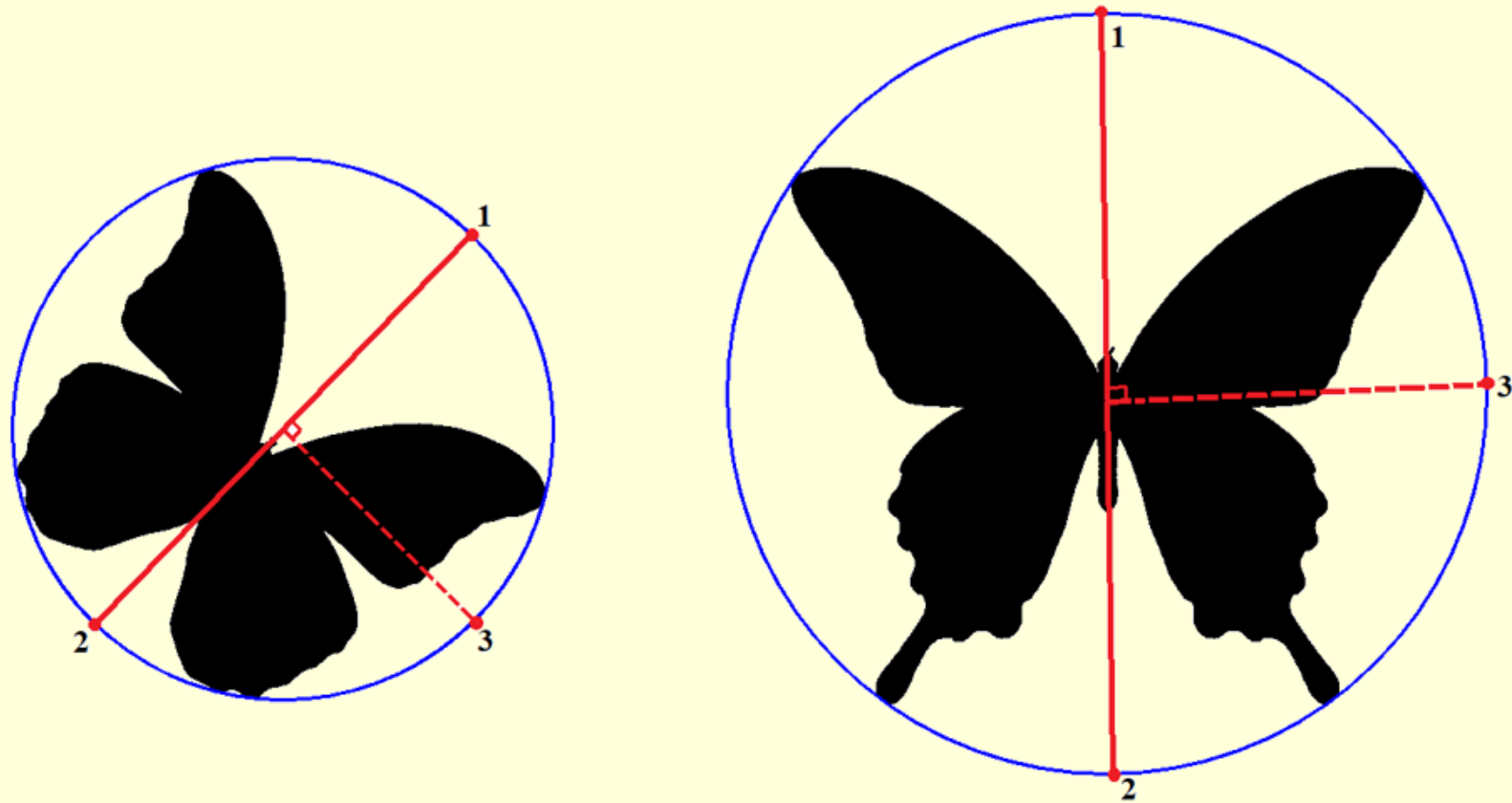
На рисунке черным показано пересечение двух множеств, синим и зеленым – не совпавшие части двух изображений.

Совмещение изображений с использованием точек пересечения оси симметрии с окружностью, описанной около фигуры (Алгоритм 2)

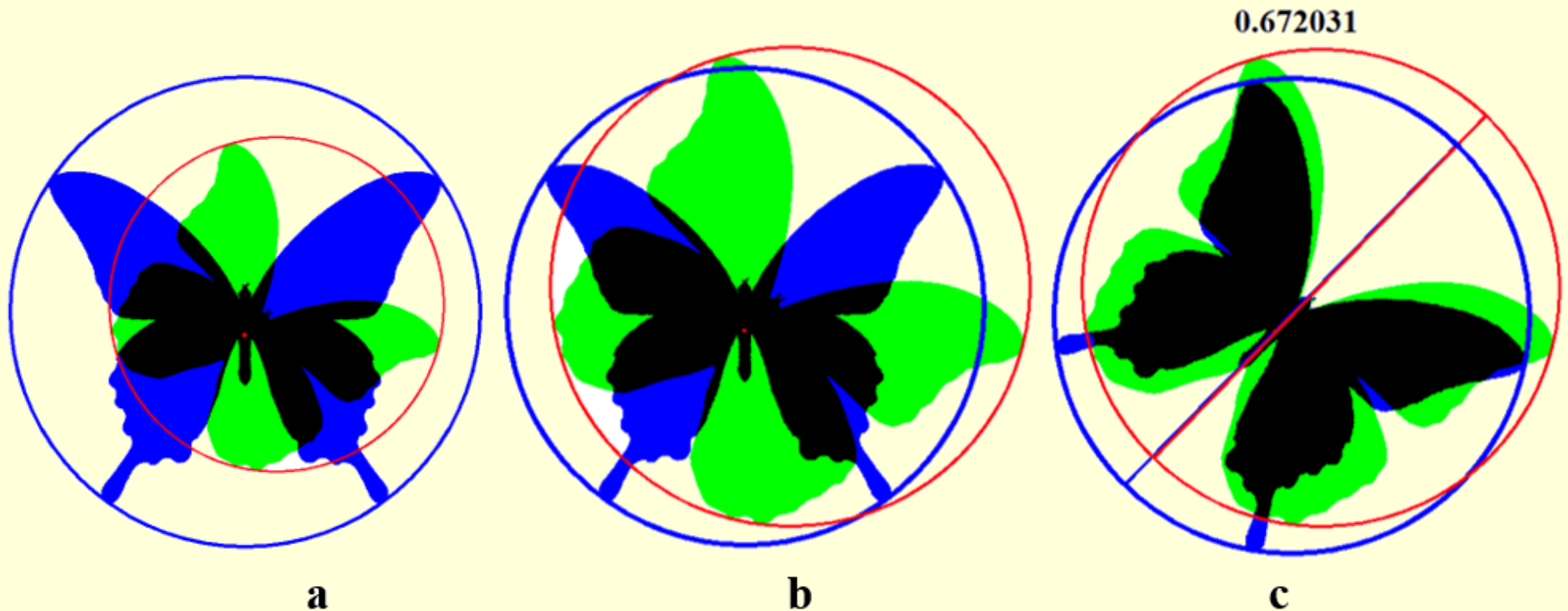


На рисунке черным показано пересечение двух множеств, синим и зеленым – не совпавшие части двух изображений. Точки 1 и 2 – точки пересечения оси симметрии с контуром изображения.

Пример поэтапного совмещения двух изображений (Алгоритм 3)

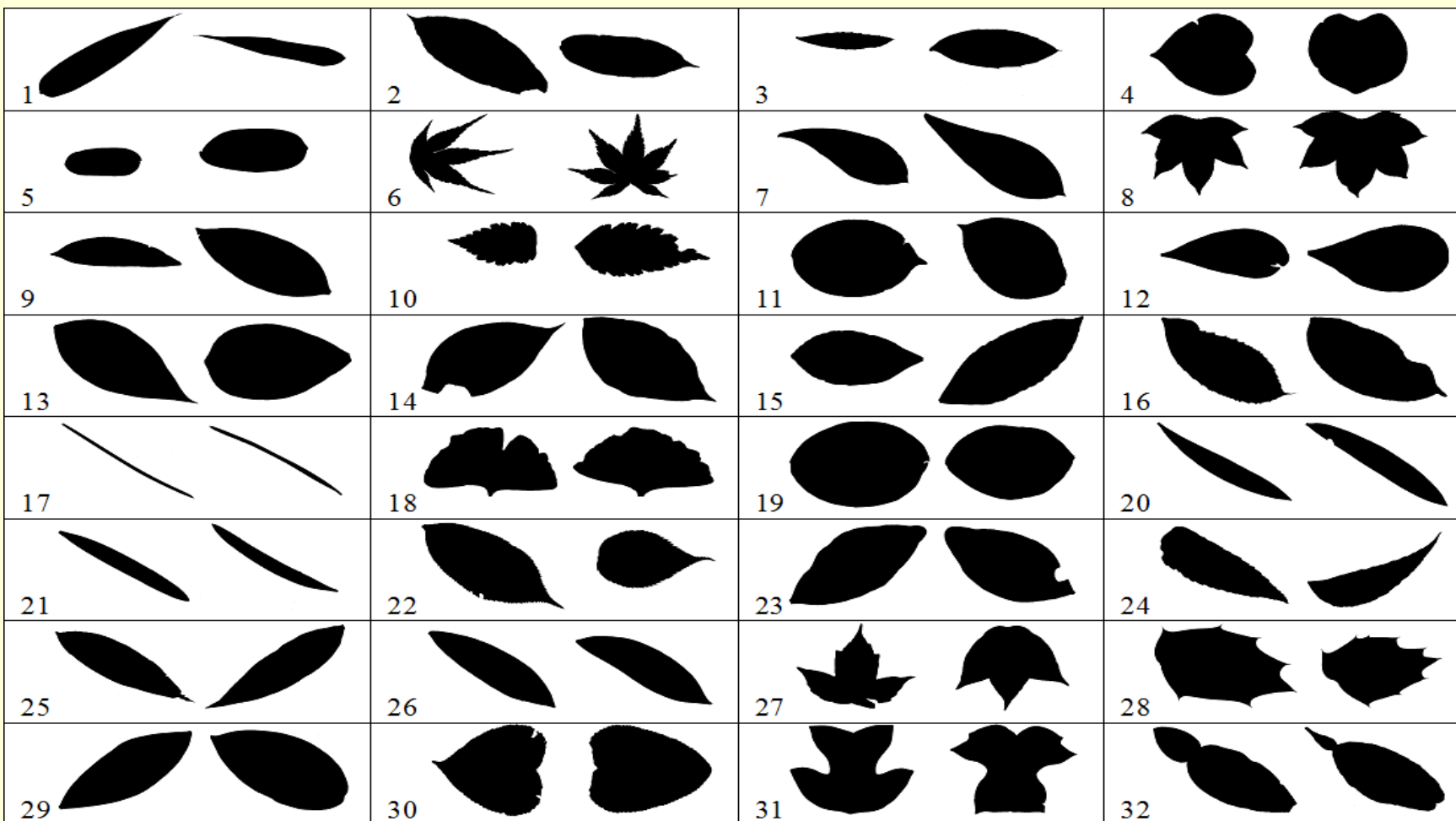


Пример поэтапного совмещения двух изображений (Алгоритм 3)



Последовательное применение операций переноса (a), масштабирования (b) и поворота (c).

База Flavia

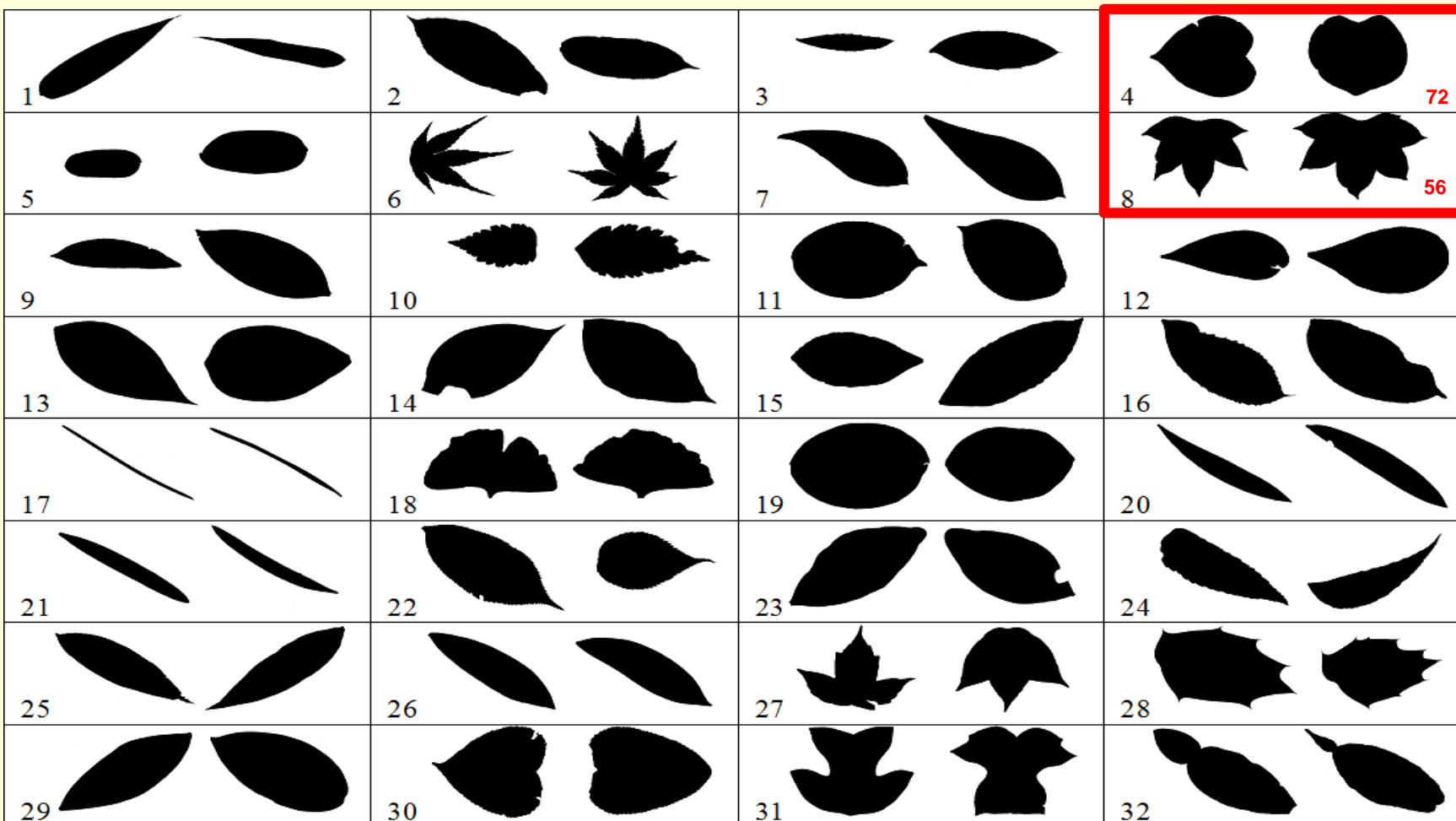


Число классов:
32

Число объектов
в классе:
50 - 77

Общее число
изображений:
1907

База Flavia



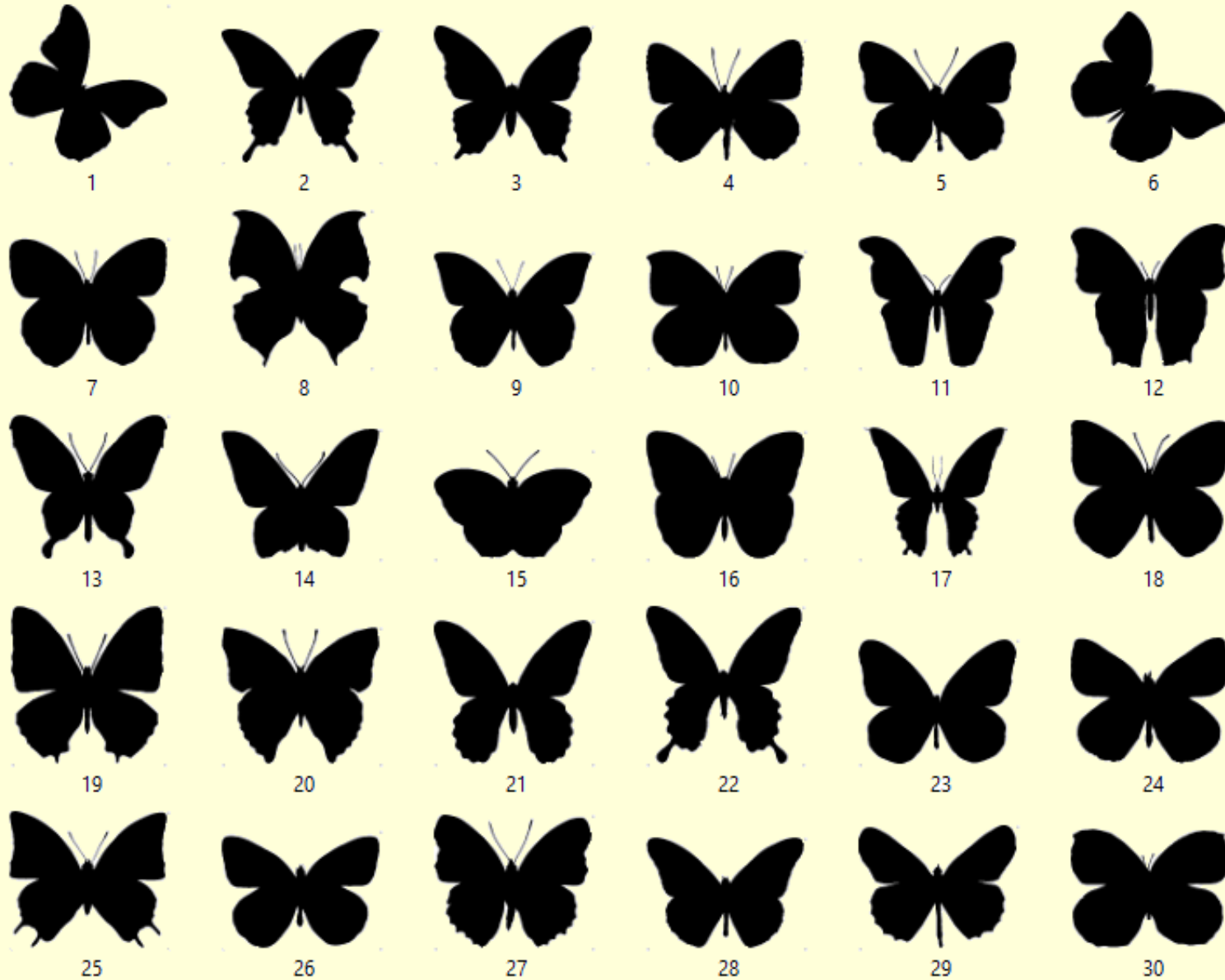
Число классов:
32

Число объектов
в классе:
50 - 77

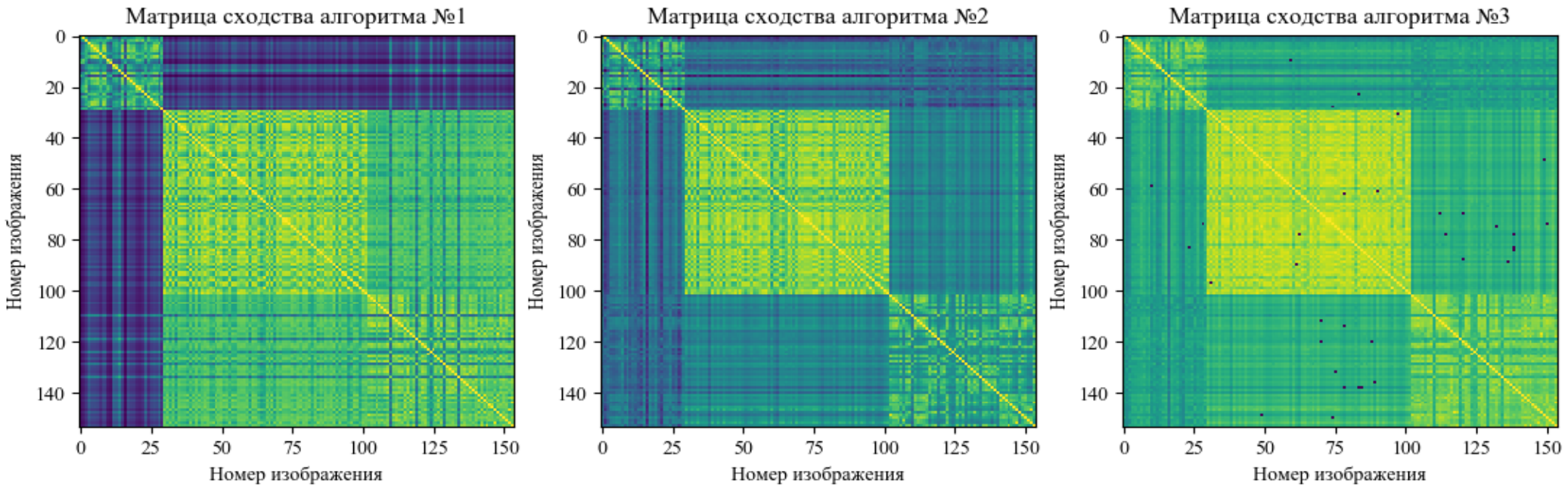
Общее число
изображений:
1907

S. Wu, F. Bao, E. Xu, Y.-X. Wang, Y.-F. Chang, Q.-L. Xiang. A leaf recognition algorithm for plant classification using probabilistic neural network, in: IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, 2007, pp. 11–16.

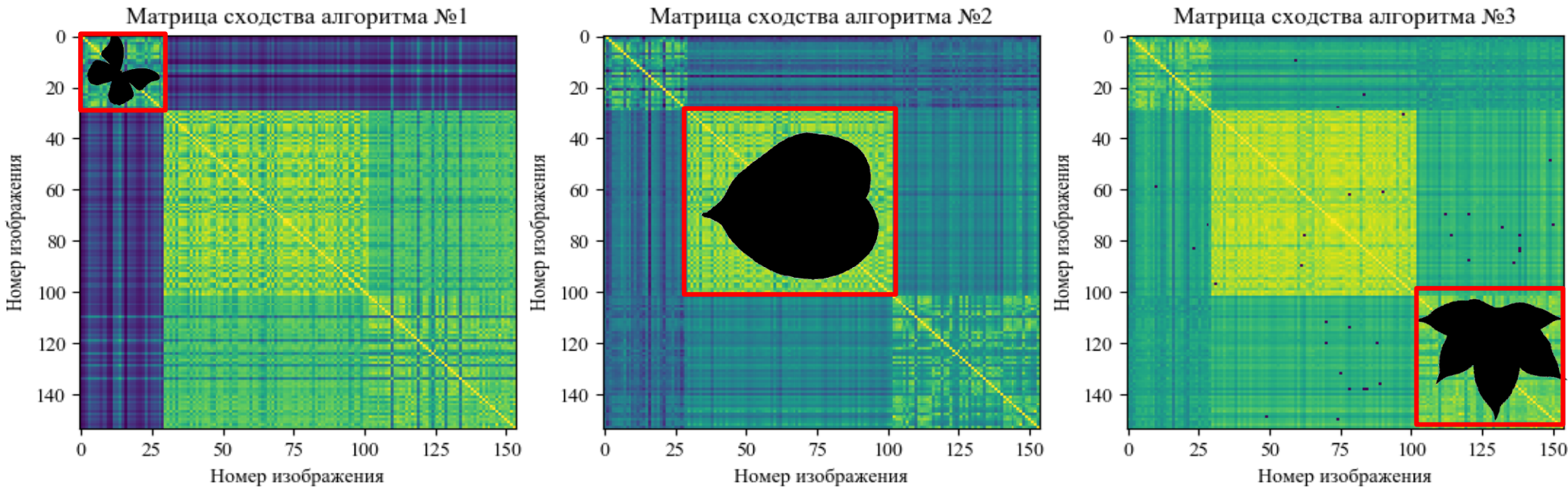
База «Бабочки»



Матрица сходства между объектами классов

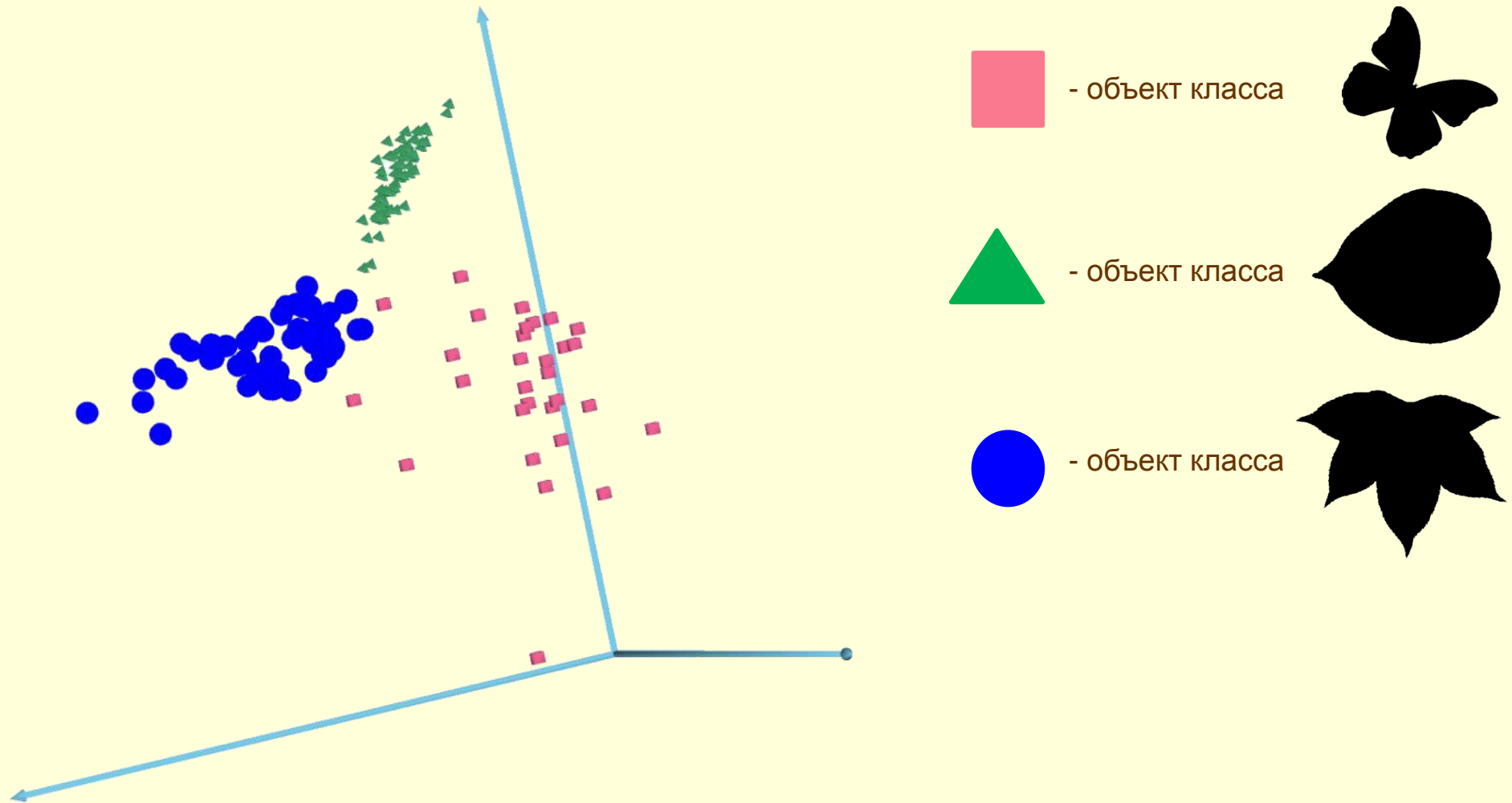


Матрица сходства между объектами классов

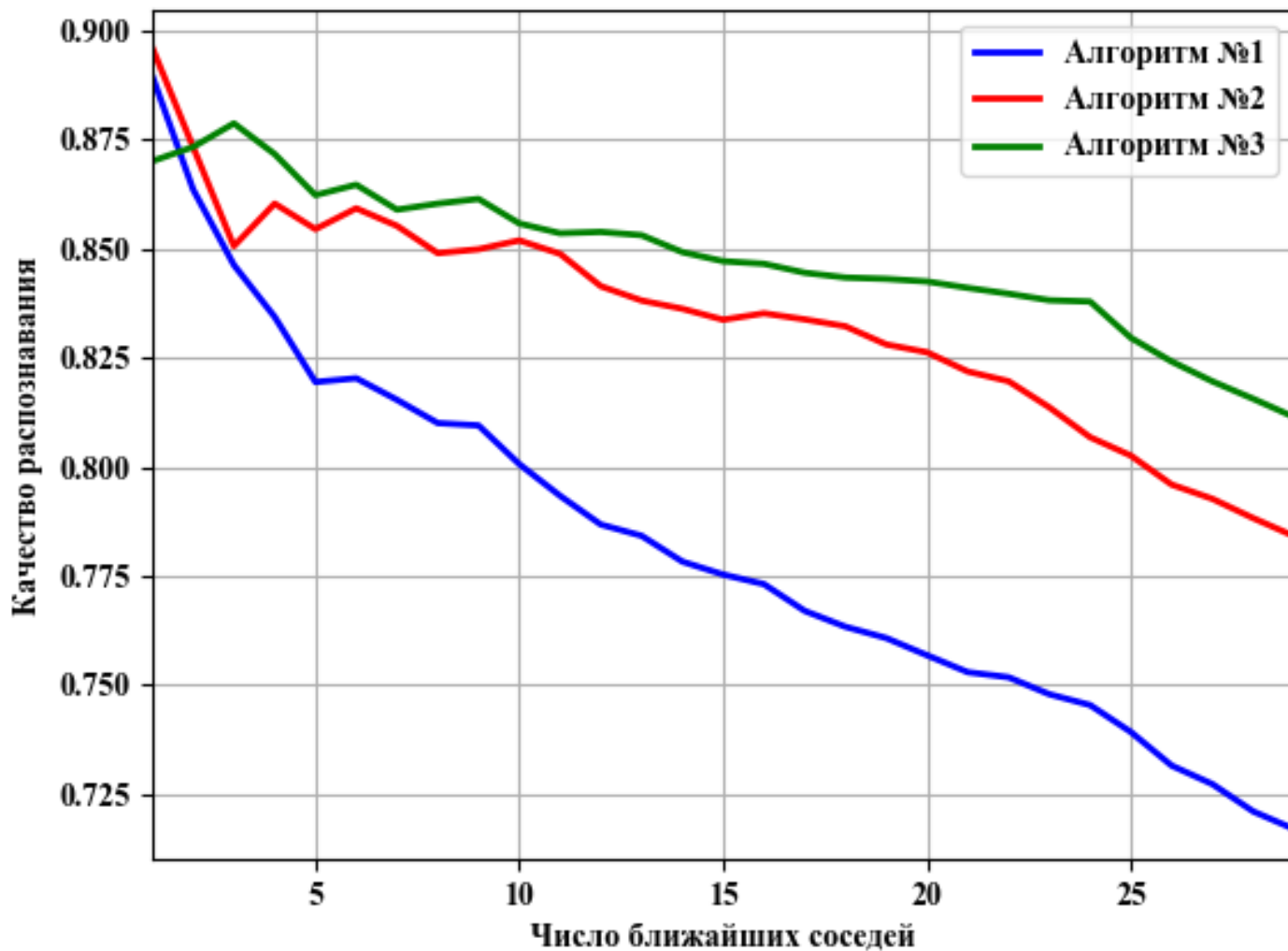


Различными цветами обозначены значения меры сходства (меры Жаккара) для 154 изображений трех классов объектов: темно-синему цвету соответствует минимальная мера Жаккара (равная 0), желтому – максимальная (равная 1).

Визуализация матрицы расстояний между объектами классов



Графики зависимости качества распознавания от числа ближайших соседей



Матрица ошибок метода ближайших центров

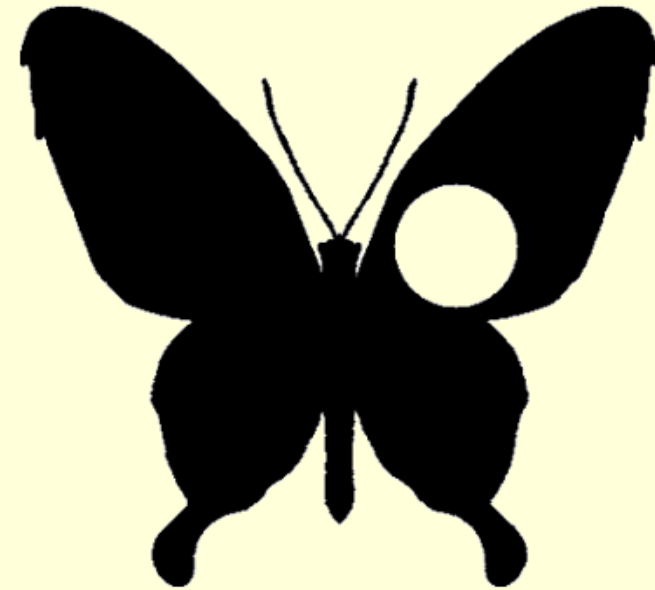
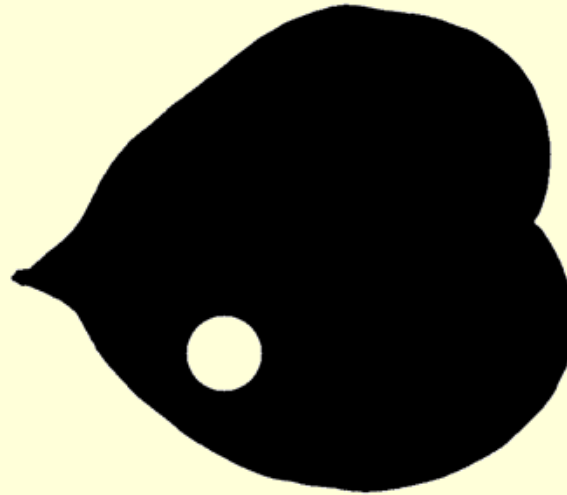
| Алгоритм 1 | | | | |
|-------------------|-----------|------------------------|---------|---------|
| Точность: 0.9156 | | Реальная классификация | | |
| | | Butterfly | Класс 4 | Класс 8 |
| Решение алгоритма | Butterfly | 30 | 0 | 1 |
| | Класс 4 | 0 | 72 | 12 |
| | Класс 8 | 0 | 0 | 39 |
| Алгоритм 2 | | | | |
| Точность: 0.9545 | | Реальная классификация | | |
| | | Butterfly | Класс 4 | Класс 8 |
| Решение алгоритма | Butterfly | 27 | 0 | 0 |
| | Класс 4 | 0 | 72 | 4 |
| | Класс 8 | 3 | 0 | 48 |
| Алгоритм 3 | | | | |
| Точность: 0.9740 | | Реальная классификация | | |
| | | Butterfly | Класс 4 | Класс 8 |
| Решение алгоритма | Butterfly | 30 | 0 | 0 |
| | Класс 4 | 0 | 72 | 4 |
| | Класс 8 | 0 | 0 | 48 |

Число объектов в классе Butterfly - 30

Число объектов в 4 классе листьев - 78

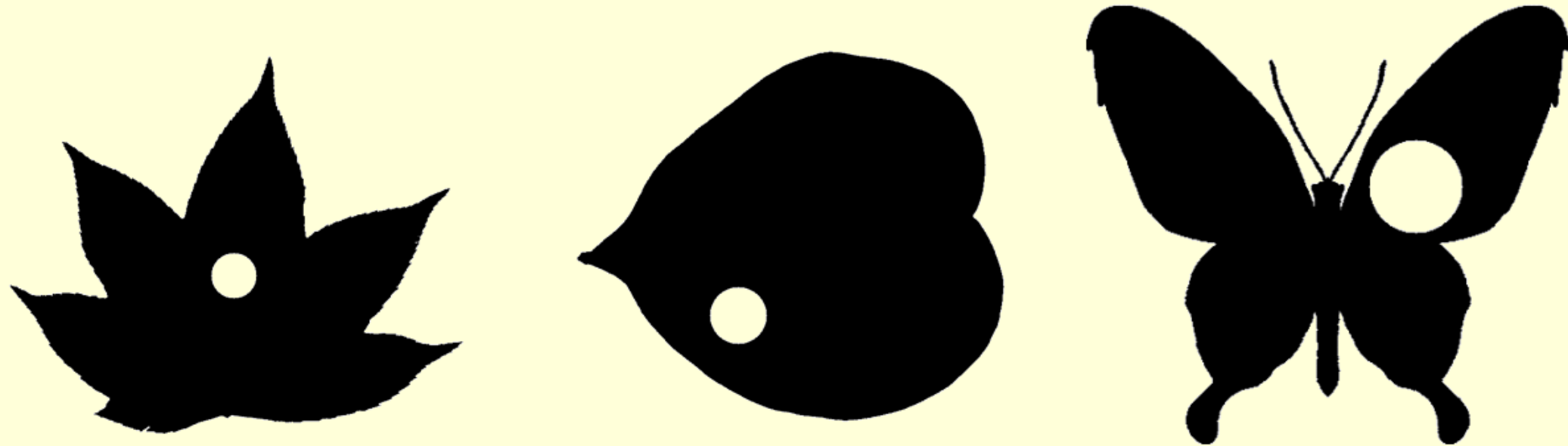
Число объектов в 8 классе листьев - 56

Примеры изображений с дырами



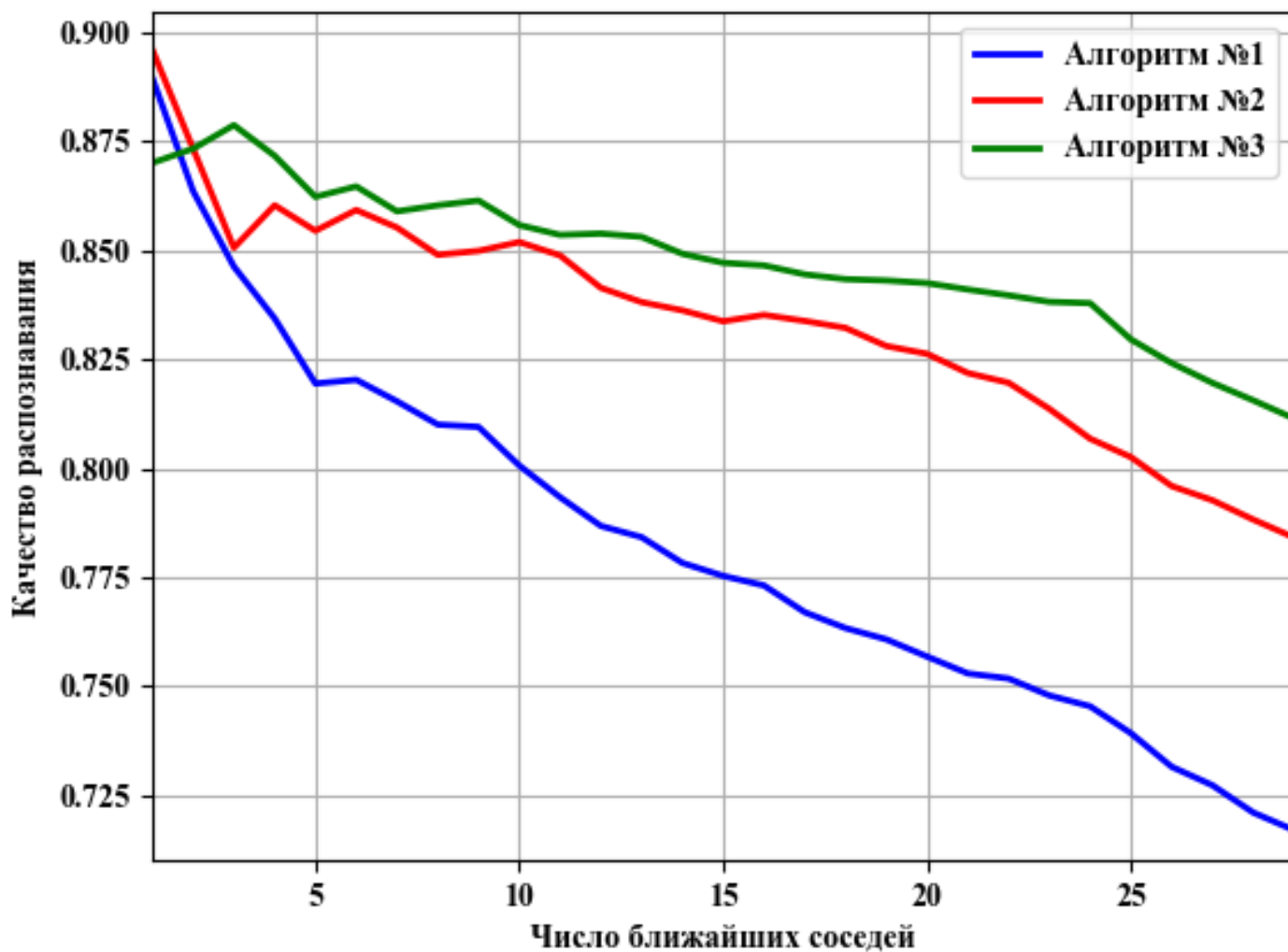
Такой подход является состоятельным при сравнении фигур содержащих дыры.

Описание эксперимента

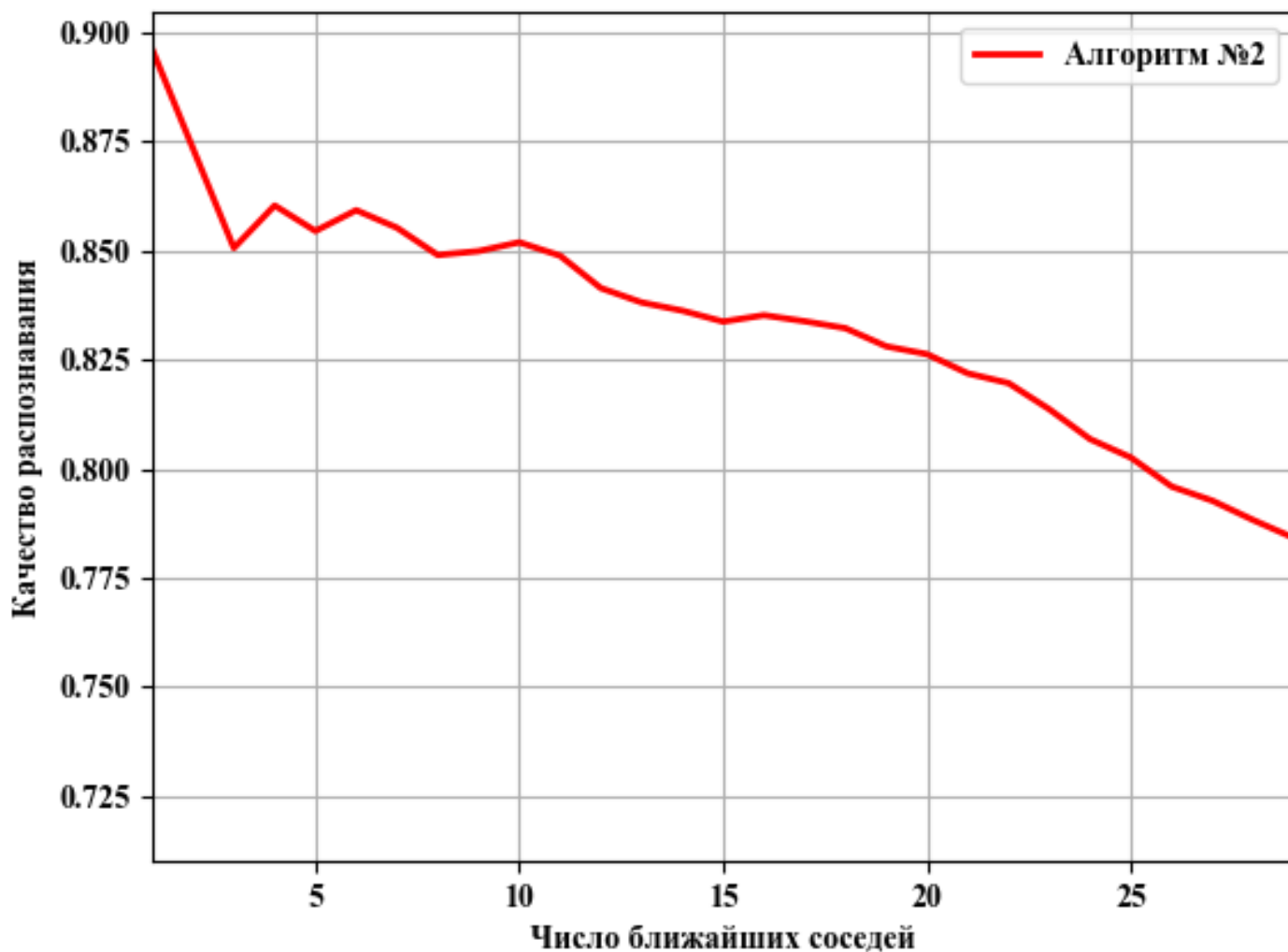


1. Искусственное добавление круглых дыр на все изображения баз.
2. Положение дыры задавалось случайным образом, размер варьировался от $0,01 R$ до $0,1 R$ и $0,01 R$ до $0,2 R$, где R - радиус окружности описывающей фигуру.
3. Дыры задавались так, чтобы не было пересечений с внешним контуром.

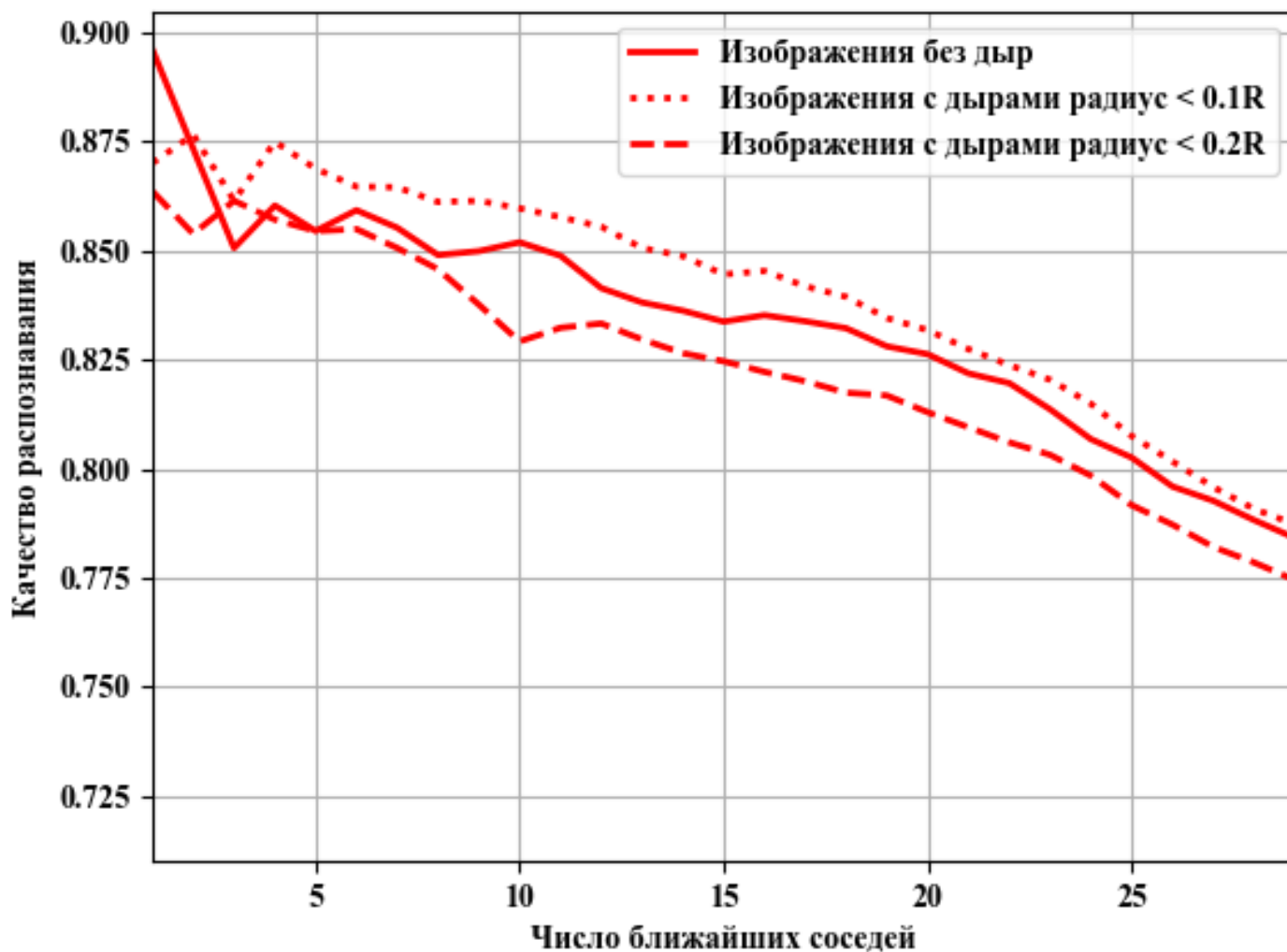
Графики зависимости качества распознавания от числа ближайших соседей



Графики зависимости качества распознавания от числа ближайших соседей



Зависимость качества распознавания от числа ближайших соседей для изображений с дырами



Спасибо за внимание!