

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ САМОПОДОБИЯ В КАЧЕСТВЕ ПРИЗНАКА ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ

*Жизняков А.Л., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «САПР ЭС», зам. директора по научной работе Муромского института (филиала Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых), e-mail: Ivovich@newmail.ru*

*Привезенцев Д.Г., аспирант кафедры «САПР ЭС» Муромского института (филиала Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых), e-mail: dgprivezencev@mail.ru*

**Ключевые слова:** цифровые изображения, классификация, самоподобие, распределение, признаки, фракталы.

### Введение

В настоящее время одним из развивающихся и перспективных направлений в цифровой обработке изображений является применение фрактального анализа. Фракталы обладают свойствами самоподобия, что означает точное или вероятностное повторение свойств объекта при рассмотрении его в разных масштабах. Свойство самоподобия приводит к определенным закономерностям в статистическом поведении признаков изображений, в результате чего изображения можно с определенной точностью описать фрактальными признаками [1-4].

Любая из процедур обработки изображений опирается на модель класса изображений – формализованное описание, выполненное с определенной степенью абстрагирования. Роль модели изображения в процессе извлечения информации состоит в обеспечении адекватного описания существенных свойств класса изображений, позволяющего дать конструктивную основу для построения эффективных вычислительных процедур.

В частности для создания новых методов фрактальной обработки изображений необходимо создать фрактальную модель изображений. Так как для построения фракталов используются системы итерируемых функций [1, 2, 4], то одним из возможных способов описания изображения является использование систем итерируемых функций [5, 6].

Для качественной классификации изображений необходим набор признаков, однозначно характеризующих изображение. Чем обширнее этот набор, тем выше степень точности классификации [7]. Поэтому, кроме традиционных признаков, использование фрактальных характеристик изображений позволит снизить ошибки и существенно увеличить эффективность распознавания.

### Самоподобие цифрового изображения

Фрактальная модель цифрового изображения предполагает представление изображения в виде дерева, листьями которого являются участки изображения (ран-

*Приводится описание свойства самоподобия цифрового изображения. Предлагаются новые признаки изображений, характеризующие внутреннее распределение самоподобия и наиболее подходящие участки изображения. Описывается алгоритм формирования фрактальных признаков изображений: характерных участков изображения и характера распределения самоподобия. Приводятся результаты исследований возможности использования распределения самоподобия в задачах классификации изображений.*

говые блоки  $R$ ). Для каждого рангового блока определяется, какой другой участок изображения (доменный блок  $D$ ) имеет схожие характеристики, после выполнения над ним заданных преобразований. К преобразованиям, выполняемым над доменными блоками, относятся сжатие, перемещение, изменения яркости и контраста точек.

Свойство самоподобия означает возможность описания одними элементами других элементов того же множества. В случае с изображением, свойство самоподобия означает возможность описания изображения его же участками. В случае полного самоподобия изображение может быть описано с помощью любого участка с нулевой погрешностью. Однако, в большинстве случаев, изображение не является полностью самоподобным. Из этого следует, что одни участки являются более самоподобными чем другие, и, следовательно, для изображения можно сформировать диаграмму или гистограмму распределения самоподобия внутри изображения.

### Распределение самоподобия изображения

Согласно фрактальной модели, изображение разбивается на доменные блоки  $D$ , с помощью которых будет впоследствии описано изображение. Затем изображение разбивается на ранговые блоки  $R$  таким образом, чтобы каждый участок изображения был описан с помощью доменного блока с заданной точностью.

Для аппроксимации ранговых блоков доменными блоками применяется преобразование  $w$ , включающее операции масштабирования, переноса, изменения яркости:

$$R_i \approx w_i(D_i) = s_i(\tilde{w}_i(D_i)) + o_i,$$

В итоге такого описания получается список ранговых блоков, из которых строится изображение, для каждого из которых указывается доменный блок и преобразование [5, 6]:

$$f' = \sum_{i=1}^M (B_{n,m}^r)^* \left[ s_i \left( \tilde{w}_i \left( B_{k,l}^d [f] \right) \right) + o_i \right],$$

где  $f$  – исходное изображение,  $B_{k,l}^d$  – оператор извлечения блока изображения, который извлекает доменный блок изображения с индексом  $d$ , левый верхний угол которого находится в точке  $(k,l)$ ;  $(B_{n,m}^r)^*$  – оператор вставки блока, который вставляет блок изображения размером  $m \times n$  в место рангового блока с индексом  $r$ , левый верхний угол которого находится в точке с координатами  $(n, m)$ ;  $s_i, o_i$  – коэффициенты преобразования яркости изображения;  $\tilde{w}_i$  – аффинное преобразование;  $M$  – количество ранговых блоков на которое развивается изображение при заданных условиях фрактального разложения.

Из множества доменных блоков  $D = \{D_i\}$  можно выделить подмножество используемых доменных блоков  $Du = \{Du_i\} \in D$ , отражающее самоподобные участки изображения. Исходя из этого, можно использовать в качестве характеристики самоподобия изображений отношение числа используемых доменных блоков к общему количеству:

$$K = \frac{|Du|}{N_D}.$$

где  $|Du|$  – количество доменных блоков, используемых для восстановления изображений,  $N_D$  – общее количество доменных блоков.

Каждый доменный блок из множества  $Du$  используется для формирования фрактального кода определенное количество раз, т.е. каждому доменному блоку можно сопоставить число, равное количеству раз использования данного блока во фрактальном коде, которое означает, сколько других участков изображения подобны этому. Разместив эти числа на изображении в местах расположения соответствующих доменных блоков, можно увидеть наиболее часто встречающиеся участки (рис. 1).

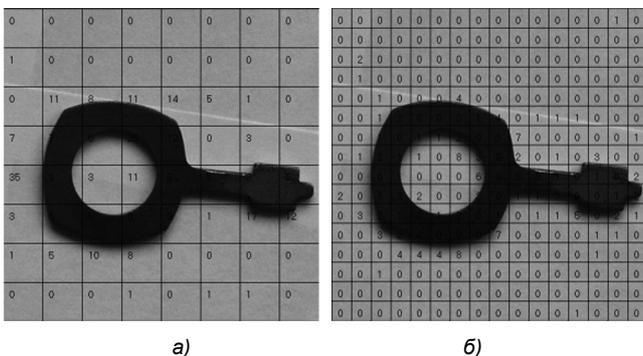


Рис. 1. Частота использования доменных блоков тестового изображения: а) первого уровня; б) второго уровня

Если используется несколько уровней доменных блоков, то для отражения подобия участков изображения данные по доменным блокам каждого уровня необходимо отобразить на одном изображении (рис. 2).

Представив частоту использования доменных блоков в виде карты высот и проведя аппроксимацию, можно получить трехмерную поверхность  $Z(x, y)$ , где  $x = 1 \dots W, y = 1 \dots H, Z(x, y) = 1 \dots \max(Du_i)$ , значение которой в каждой точке отражает степеню подобия участка изображения (рис. 3).

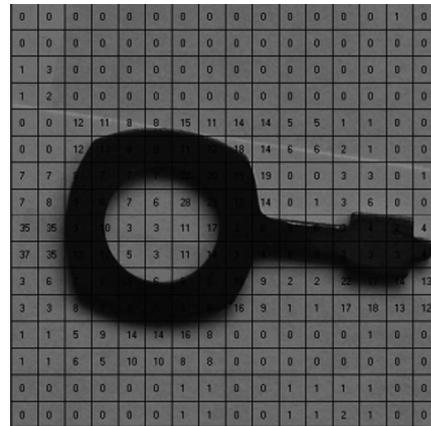


Рис. 2. Частота использования всех доменных блоков на тестовом изображении

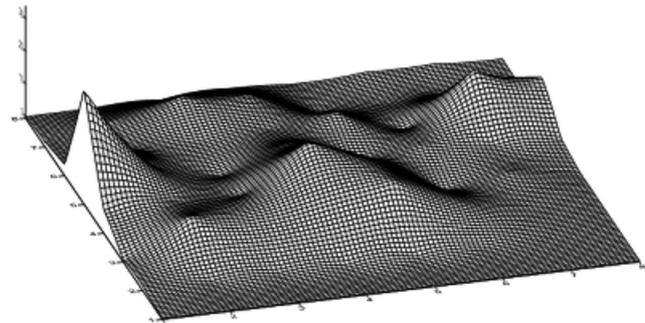


Рис. 3. Трехмерная гистограмма использования доменных блоков

Для лучшего отражения непрерывного изменения исследуемой величины на трехмерных поверхностях обычно применяются изолинии, которые отражают распределение этой величины на поверхности.

Если построить изолинии для поверхности  $Z(x, y)$  и наложить на исходное изображение, то получим наглядное представление изменения самоподобия участков (рис. 4).

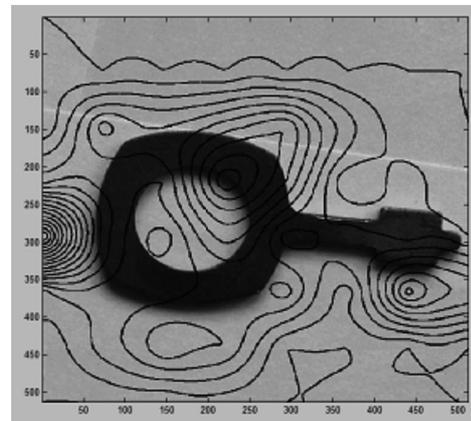


Рис. 4. Представление изменения самоподобия участков изображения



Распределение локальных свойств самоподобия внутри изображения лучше всего характеризовать параметрами представленной трехмерной гистограммы использования доменных блоков для восстановления изображения по его фрактальному коду.

### Характер распределения самоподобия изображения

Представление изменения самоподобия участков изображения с помощью изолиний обладает наглядностью и позволяет качественно оценить распределение, но не позволяет получить количественную оценку. Для задач обработки изображений необходимо представить распределение самоподобия в виде характеристик, имеющих числовое или аналитическое выражение.

Для этого строится гистограмма использования доменных блоков  $H^D(j)$  (рис. 5).

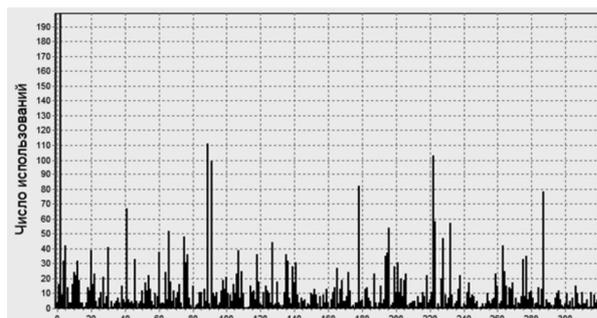


Рис. 5. Гистограмма использования доменных блоков во фрактальном коде изображения

Чем больше значение  $H^D(j)$  для доменного блока  $D_j$ , тем более характерным является участок соответствующий доменному блоку для этого изображения. Следовательно, участки с наибольшим значением  $H^D(j)$  можно использовать как шаблоны изображений в задаче распознавания и классификации изображений.

Если значения  $H^D(j)$  упорядочить по убыванию, то в общем виде получится следующего вида кривая (рис. 6). График, представленный на рис. 6, отражает характер распределения самоподобия на изображении. Если аппроксимировать полученные значения, тогда можно получить аналитическое выражение, характеризующее распределение признаков самоподобия.

Наибольшее соответствие наблюдается при аппроксимации логарифмическим уравнением вида:

$$y(x) = k \ln(x) + b.$$

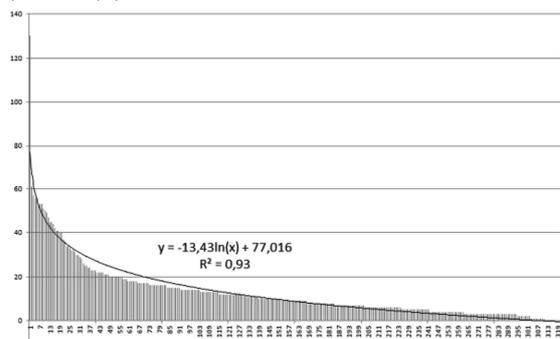


Рис. 6. Характер распределения самоподобия на изображении

### Экспериментальные исследования

При использовании признака в задачах распознавания образов необходимо его инвариантное поведение относительно различных преобразований, например, таких как преобразование изменения яркости и поворота изображения. Согласно ранее проведенному исследованию, распределение самоподобия на изображении является инвариантным признаком [8].

Для классификации изображений по их характерным участкам были взяты текстурные изображения размерами 1800x1200 пикселей. Из каждого изображения было получено 5 тестовых изображений размерами 512x512 пикселей. Для каждого тестового изображения были сформированы характерные участки и рассчитаны коэффициенты уравнений, описывающих характер распределения самоподобия на изображениях. После чего было произведено их сравнение. Результаты расчета коэффициентов уравнений, описывающих распределение самоподобия на тестовых изображениях, приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что:

- коэффициенты уравнений распределения самоподобия изображений одного класса близки между собой;
- коэффициенты для изображений разных классов отличаются.

Также было выявлено, чем больше абсолютное значение коэффициента  $k$ , тем меньше изображение имеет характерных участков, но они выразительны в большей степени.

На рис. 7 приведены тестовые изображения с рассчитанными коэффициентами уравнений распределения самоподобия, по которому видно, что первые три изображения принадлежат одному классу, что подтверждается коэффициентами, а четвертое – принадлежит другому классу.

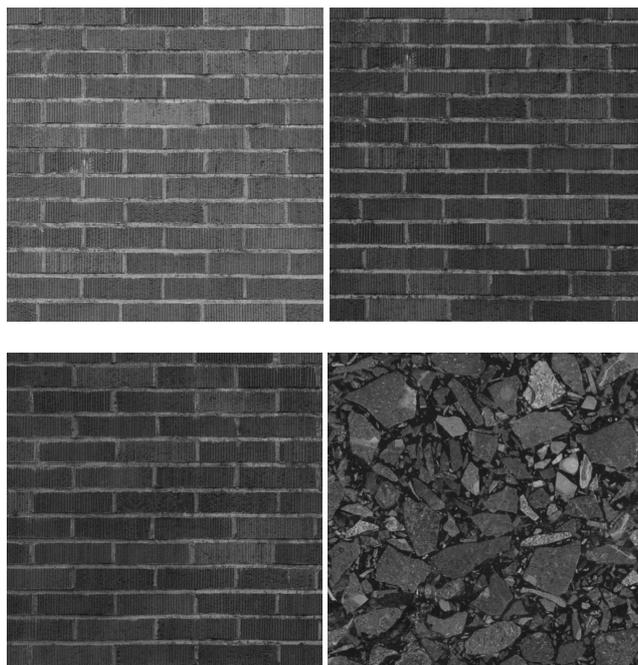


Рис. 7. Примеры тестовых изображений с рассчитанными коэффициентами уравнений распределения самоподобия

Таблица 1

Коэффициенты уравнений распределения самоподобия

	Класс а		Класс b		Класс с		Класс d		Класс е	
	к	б	к	б	к	б	к	б	к	б
Тест 1	-15,83	87,21	-19,10	99,35	-15,69	84,51	-15,05	80,50	-14,03	78,43
Тест 2	-16,13	87,46	-20,24	105,2	-18,18	98,27	-13,01	75,41	-13,61	75,36
Тест 3	-15,25	85,18	-18,38	95,92	-19,07	102,3	-14,43	81,14	-13,58	74,98
Тест 4	-15,52	85,20	-19,83	98,41	-17,43	93,24	-13,12	75,55	-12,97	73,48
Тест 5	-15,03	82,99	-20,40	106,5	-17,05	95,87	-13,41	77,62	-13,21	73,84
Среднее	-15,55	85,61	-19,59	101,1	-17,48	94,84	-13,80	78,04	-13,48	75,21
Дисп.	0,194	3,299	0,710	20,77	1,602	44,43	0,799	7,238	0,165	3,828

### Заключение

Таким образом, предлагаются новые признаки изображений, характеризующие внутреннее распределение самоподобия и наиболее подобные участки изображения. Распределение самоподобия дает возможность использовать в качестве информативных признаков изображения наиболее характерные его участки, полученные на основе гистограммы  $H^D(j)$ , которые в большинстве случаев являются уникальными для каждого изображения или класса изображений, и коэффициенты уравнения  $k$  и  $b$ , описывающего характер распределения локальных признаков самоподобия.

В результате исследования было определено, что распределение самоподобия изображения инвариантно к различным преобразованиям. Коэффициенты уравнения, описывающего распределение самоподобия, близки для изображений одного класса, но различны для изображений разных классов.

Так как распределение самоподобия изображений разных классов описывается отличающимися уравнениями, то этот признак является классифицирующим.

### Литература

1. Новейшие методы обработки изображений. / Под ред. А.А. Потапова – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496с. – ISBN 978-5-9221-0841-6.
2. Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. / Под ред. О.И. Шелухина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368с. – ISBN 978-5-9221-0949-9.
3. Методы компьютерной обработки изображений. / Под ред. В.А. Сойфера. - 2-е изд., испр. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 784с. - ISBN 5-9221-0270-2
4. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. Учебное пособие. - М.: Издательство Триумф, 2003 - 320 с.: ил.

5. Привезенцев Д.Г. «Модель цифрового изображения с использованием систем итерируемых функций» // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – №6(65) – С. 761-769.

6. Привезенцев Д.Г., Жизняков А.Л. «Фрактальная модель цифрового изображения» // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: сб. науч. тр. Издательско-полиграфический центр МИ ВЛГУ. – 2010. – Вып. 15. – с.147-152.

7. Жизняков А.Л. Формирование и анализ наборов признаков многомасштабных последовательностей цифровых изображений [Текст] // Программные продукты и системы. Изд. ЗАО НИИ «Центрпрограммсистем». – 2007. - №4.

8. Жизняков А.Л., Привезенцев Д.Г., Фомин А.А. Классификация изображений на основе локальных признаков самоподобия [Текст] // Ползуновский вестник. - 2011. - № 3, Ч. 1. - С. 12-14. ISSN 2072-8921.

### USE OF CHARACTER OF DISTRIBUTION OF SELF-SIMILARITY AS THE SIGN OF THE DIGITAL IMAGE IN THE CLASSIFICATION TASK

*Zhiznyakov A.L., Privezentsev D.G.*

In article the description of property of self-similarity of the digital image is resulted. The new signs of images characterizing internal distribution of self-similarity and the most similar blocks of the image are offered. The algorithm of formation fractal signs of images is described: characteristic blocks of the image and character of distribution of self-similarity. Results of researches of possibility of use of distribution of self-similarity in the classification task of images are resulted.