

А. Л. ЖИЗНЯКОВ, Д. Г. ПРИВЕЗЕНЦЕВ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ САМОПОДОБИЯ НА ЦИФРОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

Приведены алгоритмы вычисления признаков изображений, характеризующих внутреннее распределение самоподобия.

Ключевые слова: обработка изображений, фрактальные признаки изображений.

Введение. В настоящее время одним из перспективных направлений в цифровой обработке изображений является применение фрактального анализа. Фракталы обладают свойством самоподобия, означающим сохранение (точное или вероятностное) свойств объекта при изменении его масштабов. 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 формализованное описание, выполненное с определенной степенью абстрагирования. Модель изображения позволяет получить адекватное описание его существенных свойств, чтобы строить эффективные вычислительные процедуры.

Описание изображений возможно с помощью систем итерируемых функций [5, 6], которые также могут быть использованы для построения фракталов [1, 2, 4].

Для качественной классификации изображений необходим набор признаков, характеризующий их однозначно. Точность классификации зависит от полноты набора [7]. Поэтому

использование фрактальных характеристик изображений полностью традиционных признаков позволит снизить ошибки и существенно увеличить эффективность распознавания.

Распределение самоподобия изображений. 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 его участок был описан с помощью доменного блока с требуемой точностью.

Для аппроксимации ранговых блоков доменными 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 преобразования получается совокупность ранговых блоков, из которых строится изображение, для каждого указывается доменный блок и преобразование [5, 6]:

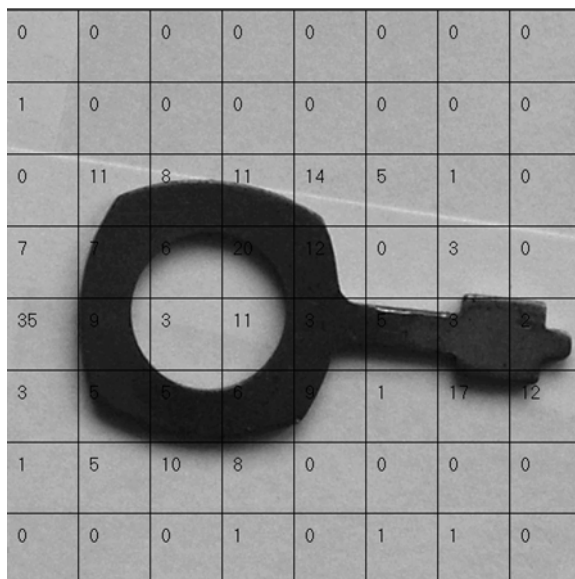
$$f' = \sum_{i=1}^M \left(B_{n_i, m_i}^{r_i} \right)^* \left[s_i \left(\tilde{w}_i \left(B_{k_i, l_i}^{d_i} [f] \right) \right) + o_i \right],$$

где f — исходное изображение; $B_{k_i, l_i}^{d_i}$ и $B_{n_i, m_i}^{r_i}$ — операторы извлечения и вставки блока изображения размером $k \times k$, левый нижний угол которого находится в точке с координатами (n, m) , s_i , o_i — коэффициенты преобразования яркости изображения; $\tilde{w}_i$ — аффинное преобразование; M — число ранговых блоков, на которое разбивается изображение при заданных условиях фрактального разложения.

Из множества доменных блоков $D = \{D_i\}$ можно выделить подмножество используемых доменных блоков $D_{\text{и}} = \{D_{\text{и}_i}\} \in D$, отражающее самоподобные участки изображения. В качестве характеристики самоподобия изображений можно использовать отношение числа используемых к общему числу доменных блоков.

Каждый доменный блок из множества $D_{\text{и}}$ 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 подобно этому. Разместив эти числа на изображении в местах расположения соответствующих доменных блоков, можно увидеть наиболее часто встречающиеся участки (рис. 1, a — первого, b — второго уровня).

$a)$



$b)$

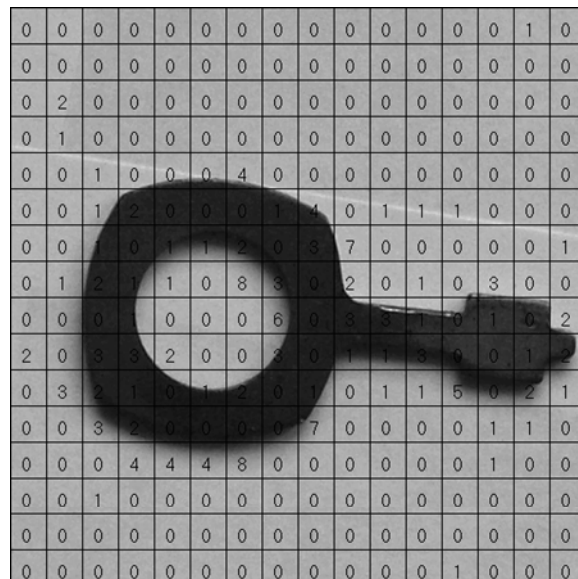


Рис. 1

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).

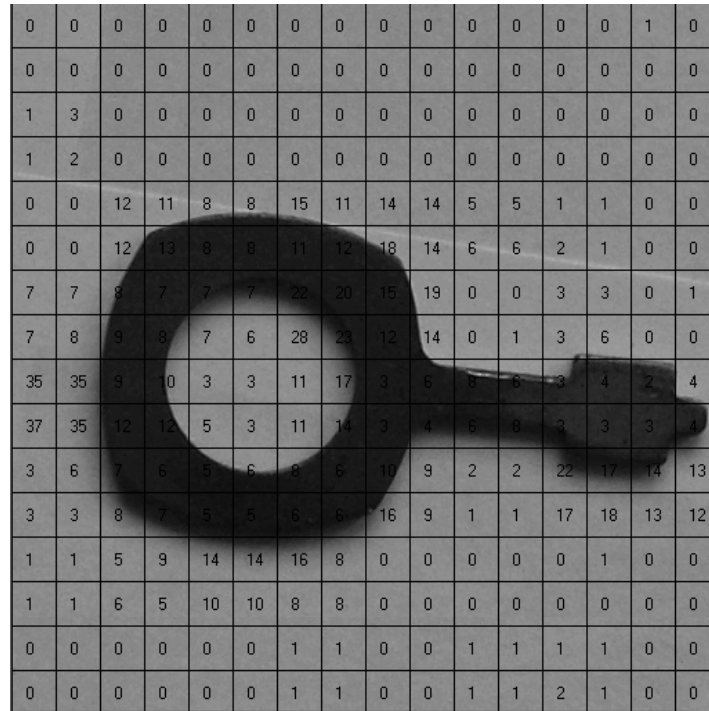


Рис. 2

Представив частоту использования доменных блоков в виде карты высот и проведя аппроксимацию, можно получить трехмерную поверхность $Z(x, y)$, где $x = 1, \dots, W$, $y = 1, \dots, H$, координата $Z(x, y) = 1, \dots, \max_i(D_{i_i})$ которой в каждой точке отражает степень подобия участка изображения (рис. 3).

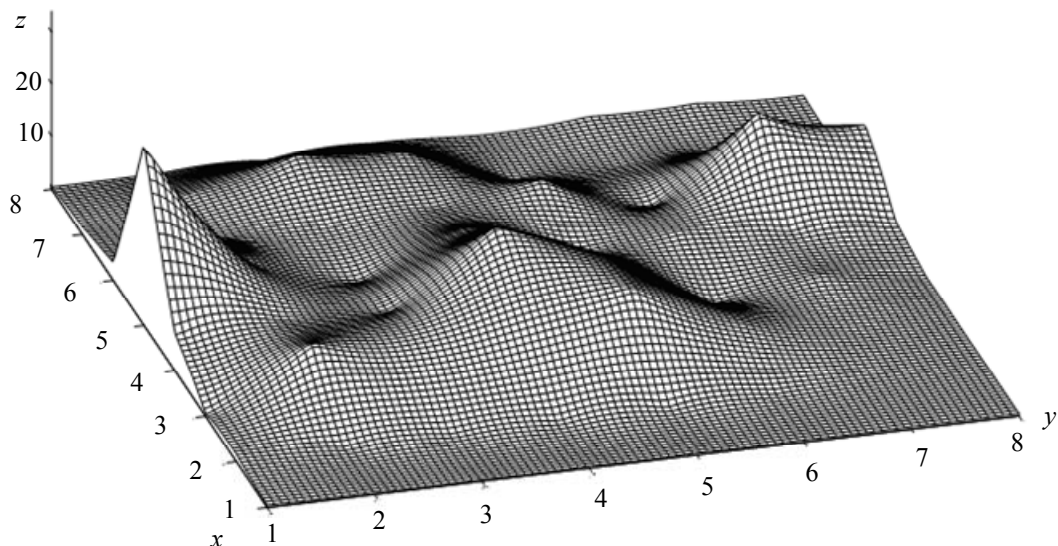


Рис. 3

Для лучшего отражения непрерывного изменения исследуемой величины на трехмерных поверхностях обычно применяются изолинии.

Построенные для поверхности $Z(x, y)$ и наложенные на исходное изображение изолинии демонстрируют изменения самоподобия участков (рис. 4).

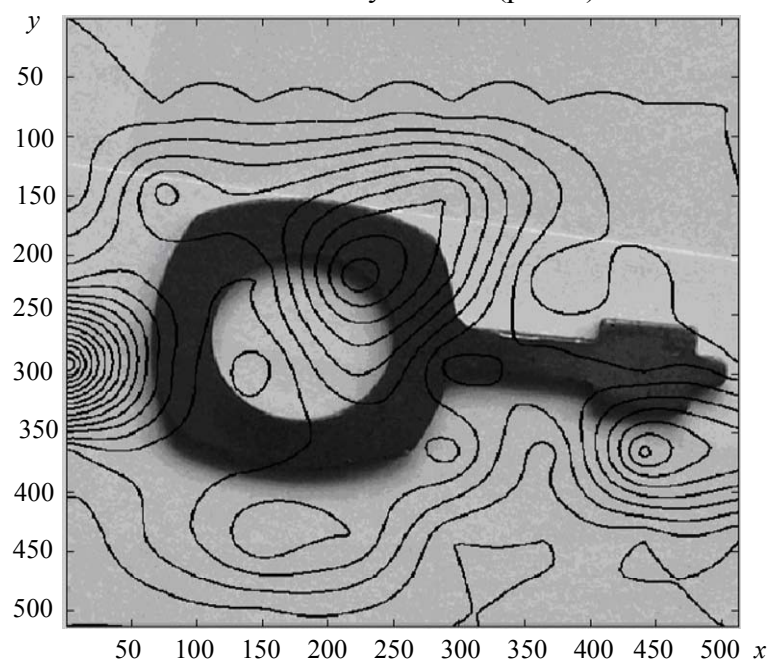


Рис. 4

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

Характер распределения самоподобия изображения. Изменение самоподобия участков изображения с помощью изолиний позволяет качественно оценить распределение, но не дает количественной оценки. Для задач автоматической обработки изображений необходимо представить распределение самоподобия в виде характеристик, имеющих числовое или аналитическое выражение. Для этого строится гистограмма использования доменных блоков $H_D(i)$ (рис. 5).

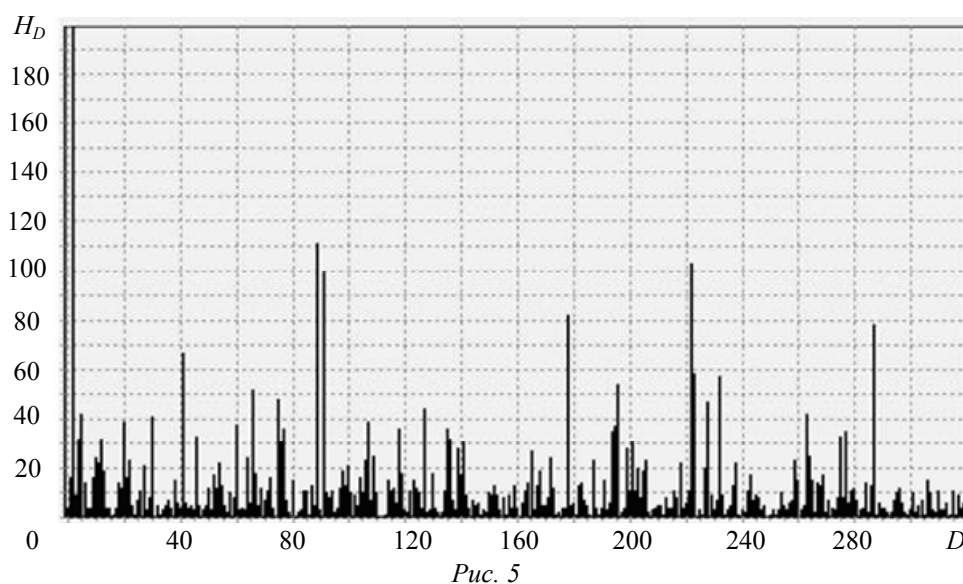


Рис. 5

Чем больше значение $H_D(i)$ для доменного блока D_i , тем более характерным является участок для этого изображения. Следовательно, участки с наибольшим значением $H_D(i)$

можно использовать как шаблоны изображений в задаче распознавания и классификации изображений.

Если значения $H_D(i)$ расположить по убыванию, то в общем виде получится следующего вида кривая (рис. 6), которая отражает характер распределения самоподобия на изображении. Если аппроксимировать полученные значения уравнением вида $y(x) = k \ln(x) + b$, то можно получить аналитическое выражение, характеризующее распределение признаков самоподобия: $y = -13,43 \ln(x) + 77,016$ при доверительной вероятности 9,93.

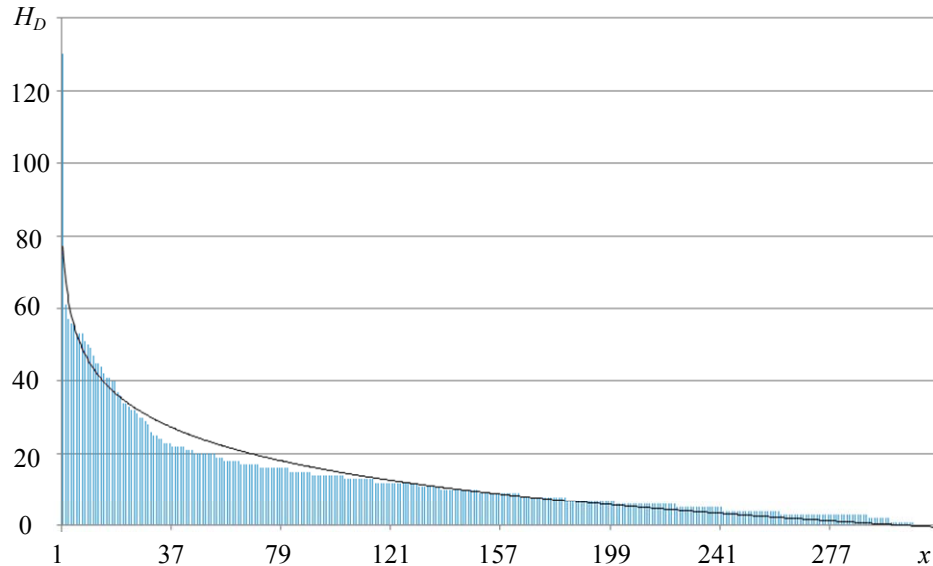


Рис. 6

Таким образом, предлагается использовать признаки изображений, характеризующие внутреннее распределение самоподобия участков изображения. Распределение самоподобия позволяет использовать в качестве информативных признаков изображения наиболее характерные его участки, полученные на основе гистограммы $H_D(i)$, которые в большинстве случаев являются уникальными для каждого изображения или класса изображений, и коэффициенты уравнения k и b , описывающего характер распределения локальных признаков самоподобия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новейшие методы обработки изображений / Под ред. А. А. Потапова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
2. Шелухин О. И., Осин А. В., Смольский С. М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 368 с.
3. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Сойфера. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
4. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. М.: Изд-во „Триумф“, 2003. 320 с.
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. Муром: Изд.-полиграф. центр МИ ВЛГУ, 2010. Вып. 15. С. 147—152.
7. Жизняков А. Л. Формирование и анализ наборов признаков многомасштабных последовательностей цифровых изображений // Программные продукты и системы. Изд. ЗАО НИИ „Центрпрограммсистем“. 2007. № 4.

Сведения об авторах

- Аркадий Львович Жизняков* — д-р техн. наук, профессор; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра САПР ЭС; заведующий кафедрой; E-mail: lvovich@newmail.ru
- Денис Геннадьевич Привезенцев* — аспирант; Муромский институт Владимирского государственного университета им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра САПР ЭС; E-mail: dgprivezenцев@mail.ru

Рекомендована Юго-Западным
государственным университетом

Поступила в редакцию
24.10.11 г.