

Д.Г. ПРИВЕЗЕНЦЕВ,  
А.Л. ЖИЗНЯКОВ

**Обзор фрактальных методов  
цифровой обработки изображений  
в металлографии**

УДК 004.942

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
Александра  
Григорьевича и Николая  
Григорьевича  
Столетовых», г. Муром

*В статье приводится обзор существующих алгоритмов вычисления фрактальных признаков цифровых изображений используемых в металлографии. Приводятся результаты исследования инвариантных свойств признаков относительно различных преобразований.*

*In article the review of existing algorithms of calculation of fractal signs digital used in a metallography is resulted. It is resulted results of research of invariant properties of signs concerning various transformations.*

**Введение**

В настоящее время одним из развивающихся направлений в цифровой обработке изображений является фрактальный анализ. Развитию этого направления способствует тот факт, что большинство изображений в некоторой степени можно считать фракталом или мультифракталом. Поэтому, любое изображение обладает свойствами и характеристиками фрактальных объектов, в том числе инвариантностью к масштабу рассмотрения и повороту, что целесообразно использовать для разработки новых методов фрактальной обработки изображений.

В качестве основных фрактальных признаков изображения обычно выступает ряд фрактальных [1-3]:

1. Сетчатая фрактальная размерность;
2. Дисперсионная размерность;
3. Корреляционная размерность.

Эти признаки вычисляются непосредственно на исходном изображении.

Сетчатая фрактальная размерность вычисляется как на бинарном изображении, так и на полутоновом, и показывает насколько плотно заполнено пространство изображения. Является равной углу наклона кривой зависимости количества заполненных ячеек наложенной на изображение сетки от размера ячеек:

$$d = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln \varepsilon},$$

где  $\varepsilon$  – размер ячеек сетки в пикселях,  $N(\varepsilon)$  – количество заполненных ячеек размера  $\varepsilon$ .

Дисперсионная и корреляционная размерности вычисляются на полутоновых изображениях. Они показывают степень разброса яркостей пикселей от среднего по изображению:

$$d = 3 - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\overline{\ln \sigma_\varepsilon^2}}{2 \ln \varepsilon},$$

где  $\overline{\sigma_\varepsilon^2}$  – среднее среднеквадратическое отклонение яркостей пикселей ячеек наложенной сетки, имеющих размеры  $\varepsilon$ .

Методы и алгоритмы вычисления размерностей на изображениях подробно рассмотрены в [1-3].

### **Фрактальный анализ изображений в металлографии**

В последние годы возрос интерес к твердотельным средам с фрактальной структурой, хотя основная определяемая характеристика – фрактальная размерность – никак не связывалась с их физическими и химическими свойствами [4-7].

В настоящее время в металлографии фрактальный анализ касается микроскопических изображений поверхностей материалов. С помощью фрактальных характеристик описываются такие параметры материалов как характер структуры материала, степень шероховатости поверхностей, степень химических изменений поверхности, степень деформации материалов. С помощью мультифрактальных характеристик описываются структура и механические свойства металлов.

Известно, что при деформации материалов на его поверхности возникает деформированный рельеф, который может быть охарак-

теризован фрактальной размерностью. По мере увеличения остаточной деформации значения фрактальной размерности увеличиваются по линейному закону, т.е. при удалении от места разрушения фрактальная размерность поверхности уменьшается. Наблюдаемые изменения фрактальной размерности материалов полностью определяются параметрами тонкой кристаллической структурой. Таким образом, установлено, что имеется однозначная корреляция между возникающим на поверхности рельефом и его фрактальной размерностью. Кроме того, активно развивающийся в настоящее время инструментарий фрактальной геометрии дает возможность определения истинной конфигурации трещин в структуре материалов. С использованием фрактальной размерности определяются истинные размеры трещин, что дает возможность адекватно оценивать и прогнозировать изменения характеристик разрушения структуры материалов.

Пористость материалов напрямую влияет на их фрактальную размерность. При увеличении порового пространства в материале растет фрактальная размерность, что обуславливается переходом поровой структуры от изолированных пор до сообщающихся поровых кластеров, с разветвленными границами. Однако, при очень большом поровом пространстве, в котором сформировались очень крупные поры, вследствие чего границы являются геометрически гладкими, а их изрезанность убывает, фрактальная размерность уменьшается.

Качество поверхности материалов традиционно определяется шероховатостью. При этом шероховатость поверхности и поверхностный слой материала можно рассматривать как единую иерархическую фрактальную или мультифрактальную структуру. Использование фрактальных характеристик позволяет количественно или качественно оценить физические свойства, при этом имеется корреляция между фрактальными характеристиками и видом обработки поверхности. Используя фрактальный анализ изображений поверхности образцов, представляется возможным оценить характеристики деформационной структуры материала на нескольких масштабных уровнях.

Кроме деформации и качества поверхности, с помощью фрактальной размерности можно оценивать происходящие на поверхно-

сти химические изменения. Изменения фрактальной размерности изображений поверхности материала свидетельствует о существенном изменении в свойствах материалов, т.е. фрактальная размерность характеризует изменение внутренней структуры. Таким образом, последовательно отслеживая изменение фрактальной размерности поверхности материалов, имеется возможность определить ее взаимосвязь с физическими и химическими свойствами металлов.

Таким образом, фрактальный анализ изображений поверхностей материалов используется для количественного описания процессов самоорганизации и оценки взаимосвязи между количественными характеристиками фрактальной структуры и параметрами внешнего воздействия, ввиду того, что фрактальная размерность, как основная фрактальная характеристика, оказывается чувствительной как к параметрам внешнего воздействия, так и к внутренним характеристикам материалов.

Однако, возможности фрактального анализа изображений микроструктур материалов, в том числе металлов, используются не полностью. Отсутствуют методы и алгоритмы классификации материалов по изображениям, распознавания материалов по изображениям поверхностей, обнаружение дефектов на поверхностях. Для этого необходимы новые фрактальные признаки и алгоритмы их формирования.

### **Исследование возможности использования фрактальной размерности в задачи распознавания изображений**

При использовании признака в задачах распознавания образов необходимо его инвариантное поведение относительно различных преобразований, например, таких как преобразование изменения яркости и поворота изображения. Поэтому необходимо исследовать характер изменения признаков самоподобия изображения при выполнении преобразований над исходным изображением [8].

Все оценки фрактальной размерности полностью инвариантны к повороту изображений. Отклонение сетчатых размерностей повернутых изображений от размерностей исходных изображений равно нулю. Дисперсионная и корреляционная размерности показывают абсолютное отклонение не более 0,01%. Это обуславливается тем, что эти величины характеризуют внутреннее строение, степень

заполнения и плотности, шероховатости поверхностей и т.п., т.е. они не зависят от пространственного положения, поворота.

При изменении яркости исходных изображений сетчатая размерность изменилась в значительной степени (в некоторых случаях на 35-40%). Это обуславливается тем, что для вычисления размерности производится пороговая бинаризация изображений, а при изменении яркости одному и тому же порогу бинаризации будут соответствовать разные бинарные изображения. Поэтому можно сказать, что сетчатая фрактальная размерность не инвариантна к изменениям яркости.

Дисперсионная и корреляционная размерность показывают большую устойчивость к изменениям яркости. Относительные изменения в большинстве случаев не превышают 1-2%, редких случаях до 5%. Такие изменения размерностей можно объяснить, используя гистограмму изображений. Под изменением яркости подразумевается сдвиг гистограммы влево или вправо. При этом если при сдвиге большая часть пикселе преобразуется в черные или белые, то это, несомненно, сказывается на фрактальных размерностях. На тех изображениях, на которых достаточно ровная гистограмма без высоких пиков, изменение яркости особо не влияет на величину фрактальной размерности. Однако если на гистограмме изображения присутствует высокий пик в яркостной области 200-250 или 0-50, тогда даже незначительные изменения яркостей точек существенно изменят размерность.

Наложение шума на изображение также в значительной степени влияет на величину фрактальных размерностей. Сетчатая размерность при незначительном шуме с СКО = 10 изменилась в среднем на 5-7%. С увеличением СКО шума возрастает и разница в размерностях. Так, при СКО=40 разница достигает 30-40%, а в некоторых случаях до 200%. Дисперсионная размерность и корреляционная размерность также в значительной степени изменяются при наложении шума. Это обуславливается характером этих размерностей. Так как они отображают среднее отклонение яркостей пикселей от среднего значения в их окрестностях. Наложение шума увеличивают этот разброс, поэтому с увеличением СКО шума увеличиваются и размерности.

Влияние шума на величины размерностей в большей степени проявляются на гладких изображениях, т.е. на тех изображениях, дисперсионная размерность которых низкая. Так, например, если дисперсионная размерность исходного изображения равна 2,4494, при наложении шума с СКО=40, она изменилась 10%, в то время как дисперсионная размерность изображения изменилась на 226%, при исходной размерности равной 0,8580.

Таким образом, для фрактальных размерностей наблюдается полная устойчивость к пространственному положению и ориентации, в тоже время имеется достаточно высокая чувствительность к изменениям гистограммы изображений. Можно предположить, что такая чувствительность наблюдается при любых преобразованиях гистограммы изображения. Кроме этого наблюдается разная чувствительность к наложению шума. Из этого следует, что в чистом виде фрактальные размерности не могут выступать как характеристики изображения, пригодные для его распознавания. Можно предположить, что использование их в совокупности с другими фрактальными и нефрактальными характеристиками изображений повысит точность распознавания и эффективность других методов цифровой обработки изображений.

**Заключение.** Фрактальный анализ изображений металлов наиболее быстро развивается, в силу того, что внутренняя структура и поверхность металла, как природного объекта, имеет мультифрактальные свойства. На сегодняшний день разработаны методы описания физических свойств металлов, характер их изменения, описания степени деформации, качества обработки поверхности. Однако в их основе лежит интерпретация рассчитанной фрактальной размерности и производных от нее характеристик, следовательно, увеличение числа используемых фрактальных признаков повысит точность описания свойств металлов и позволит создать новые алгоритмы анализа изображений.

## Литература

1. Новейшие методы обработки изображений. [Текст] / Под ред. А.А. Потапова - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496с. - ISBN 978-5-9221-0841-6
2. Короленко П.В., Маганова М.С., Меснянкин А.В. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике. Фрактальные и мультифрактальные методы, вейвет-преобразования. Учебное пособие. – М.: Мос-

ковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, 2004. – 82 с.

3. Потапов А.А. Герман В.А. О методах измерения фрактальной размерности и фрактальных сигнатур многомерных стохастических сигналов [Текст] // Радиотехника и Электроника, 2004. – Т.49. – №12. – С.1468-1491.

4. Привезенцев Д.Г., Жизняков А.Л., Баранов А.А. «Применение фрактальных методов в обработке изображений и сигналов» [Текст] // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: сб. науч. тр. Издательско-полиграфический центр МИ ВЛГУ. – 2009. – Вып. 14. – с.133-141.

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

6. 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.

7. Привезенцев Д.Г., Жизняков А.Л. "Формирование тестовых изображений с заданным распределением самоподобия" [Текст] // Алгоритмы, методы и системы обработки данных: сб. науч. тр. Издательско-полиграфический центр МИ ВЛГУ. – 2011. – Вып. 16.

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