

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ СНИМКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Орлов А.А., Антонов Л.В.

*Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
Россия, 602264, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, д.23, is.dep.mivlgu@gmail.com*

В работе рассматриваются основные современные направления исследований обработки наномасштабных снимков высокой степени детализации. Приведены примеры и описания алгоритмов, позволяющих решать задачи определения физических, химических, геометрических и структурных параметров наноматериалов; отдельно рассмотрен аспект решения проблемы зашумленности изображений с учетом их специфики. Представлены и проанализированы результаты исследовательских работ, показывающих актуальность дальнейшего развития и совершенствования компьютерных методов обработки наномасштабных снимков. Проведенный анализ показал, что большинство современных алгоритмов не способны достоверно и точно выделять объекты на сцене наномасштабных снимков, а современные системы обработки снимков наноструктур неэффективны и содержат большое количество ручных вычислений. Разработана система алгоритмов, позволяющая решать широкий спектр задач для анализа изображений структуры наноматериалов. Приведены результаты обработки снимков наноструктур.

Ключевые слова: Обработка изображений, наномасштабное изображение.

IMAGE PROCESSING ALGORITHMS OF THE INDUSTRIAL PRODUCTS

Orlov A.A., Antonov A.V.

Murom institute (branch) of Vladimit State University name of Aleksandr Grigoryevich and Nikolay Grigoryevich Stoletov Russian Federation, Valdimir region, Murom, Orlovskaya street, 23 is.dep.mivlgu@gmail.com

The main current directions of research in nanoscale images processing a high degree of detail showed in the paper. Examples and descriptions of algorithms for determining the physical, chemical, geometrical and structural parameters of nanomaterials discussed in the article; the special problem of noise in the images was considered in the paper. The results of research works showing the importance of the development and improvement of computer processing methods for nanoscale images processing presented in the paper. The analysis shows that the most current algorithms are cannot to reliably and accurately select objects on the nanoscale images and modern systems of nanostructures image processing are ineffective and include a large number of manual calculations. A system of algorithms for solving a wide range of tasks for image analysis structure of nanomaterials are developed. The results of the image processing of nanostructures are showed.

Keywords: image processing, nanoscale images.

В настоящее время исследователи все больше и больше углубляются в мир нанотехнологий. Проблемы исследования структуры веществ, выявление различных дефектов в них постепенно переходят из мира изображений микро расстояний и размеров в мир, где оперируют единицами наномасштаба. Целью настоящей работы является создание системы алгоритмов обработки наномасштабных снимков промышленных изделий, позволяющих автоматизировать процесс анализа изображений структуры наноматериалов.

На сегодняшний момент обработка изображений выделилось практически в отдельную отрасль со своими специфическими целями и задачами. Обработка наномасштабных снимков обусловлена, в первую очередь необходимостью в получении данных о физических и химических свойствах вещества. Спектр решаемых задач по обработке снимков наноструктуры весьма обширен и включает в себя такие направления, как определение

геометрических показателей наночастиц или кластеров частиц; классификация и кластеризация объектов наномасштабных снимков; определение статистических характеристик и соотношений в исследуемом объекте; создание компьютерных моделей исследуемого вещества, с помощью восстановления трехмерных моделей с двухмерных снимков. Перечисленные направления являются приоритетными. Для решения поставленных задач, порой необходимо решать и множество промежуточных проблем, связанных с отсутствием алгоритмической базы для обработки подобного рода изображений. Но если приведенные проблемы будут преодолены, то откроются безграничные перспективы, позволяющие решать различный спектр технических, химических, микробиологических, геологических, металлургических задач. Отдельно хотелось бы выделить перспективу развития прогнозирования при точном получении статистических характеристик с наномасштабных снимков, например, на основе полученных данных о вещественном составе объекта и распределении этих веществ по всему объему объекта можно спрогнозировать ситуации, в которых данная структура вещества будет неустойчива, а следовательно разрушена [1-3, 5, 9, 10].

В работах [1-3, 5, 9, 10] показано, что существует несколько методов получения наномасштабных изображений, основанных на атомно-силовой микроскопии, туннельной электронной микроскопии, сканирующей туннельной микроскопии. Корпораций создания и поставки подобного специфического оборудования в мире немного, каждая из них разрабатывает собственное программное обеспечение для управления микроскопом и обработки полученных снимков. Проблема заключается в том, что программное обеспечение не может быть доработано и модернизировано, так как код закрыт и не может быть дополнен. Следовательно, для добавления собственной функции анализа изображения встает проблема создания собственных комплексных пакетов обработки изображений.

Одним из наиболее перспективных направлений развития сферы обработки наномасштабных изображений является определение типа кристаллической решетки исследуемого вещества. Метод предложенный в работе [1] предполагает, что имея снимок вещества, представляющий собой проекцию решетки на двумерную плоскость, можно выполнить построение компьютерной модели структуры вещества, с помощью сложных вычислений, основываясь на признаках базовых решеток Бравэ.

Представленный в работе [2] цифровой алгоритм позволяет рассчитать статистические характеристики исследуемых материалов посредством обработки больших выборок изображений, полученных с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ-изображения) пленок блок-сополимеров. Предпосылкой создания алгоритма стала довольно существенная

разница результатов при анализе характеристик различными методиками расчета. В работе представлены результаты обработки наномасштабного изображения триблок-сополимера полистирол-полиметакрилат-полистирола. На изображении последовательно выполнялись операции выравнивания общего рельефа. Затем использовался метод фазовых разделений снимка для выделения доменных частей [2].

В работе [2] в качестве объекта диагностического исследования рассматривалась ламеллярная структура вещества, которая была получена из анализа кластеров, выделенных на этапе использования фазового разделения. Здесь с помощью преобразования Фурье смогли получить линию гармоник с периодом 45 нм. Таким образом, представленный алгоритм, может рассчитать статистические характеристики исследуемого вещества и представить ее в виде графика ламеллярной структуры.

Одним из наиболее важных направлений обработки наномасштабных изображений является определение размеров частиц на поверхности материала, а также возможность автоматического разделения и распознавания слипшихся частиц, как автономных объектов. Данная проблематика подробно изложена в [10]. Из-за неприменимости порогового метода в [10] показывается необходимость создания специального алгоритма для обработки наномасштабных снимков.

В работах [5-8] авторами рассматривается проблематика выделения контуров объектов в ситуации сильной размытости или нечеткости снимков наноструктур. На основе вычисления градиента яркости и подчеркивания границ был разработан алгоритм предварительной обработки снимка наноструктуры.

Актуальность исследования процентного содержания веществ в исследуемом объекте обсуждается в [3]. В примере, приведенном в этой работе, рассматривается анализ содержания примесей и распределения веществ по всему объекту (наполненной резине). В работе показана необходимость подобного рода исследований, так как если некоторые вещества не распределены по всему объекту наполненной резины равномерно, то это может вызвать деформацию или разрушения объекта, что в условиях производства может привести к непоправимым последствиям. Данный метод в работе [3] полностью описан, но фактически, большая часть действий, расчетов и анализа выполняется вручную.

В рамках проведенной научной работы был разработан ряд алгоритмов, позволяющих преобразовать изображение к виду, необходимому для автоматического вычисления размерных характеристик объектов наномасштабных снимков. Данные методы основаны на интегральном преобразовании по сегменту полосы (ИПСП) изображения [4]. Полоса разбивается на части, названные сегментами. Сегмента полосы, характеризуется позицией,

ориентацией, шириной, длиной, профилем и яркостью. В результате ИПСП формируется функция четырех аргументов (позиция, ориентация и масштаб по ширине сегмента).

Максимальные значения функции ИПСП будут соответствовать параметрам сегментов полос на исходном изображении.

В результате формируется ядро интегрального преобразования, отличающееся структурным описанием сегмента полосы и позволяющее определить локальные параметры полос на исходном изображении.

Для выделения размытых контурных перепадов на снимках разработан алгоритм выделения границ объектов, основанный на ИПСП. Алгоритм позволяет получить единственный отклик на профиль границы полутоновых образов. По спектральной функции ИПСП определяется позиция, длина, ширина и ориентация каждого сегмента границы, используемые для дальнейшей обработки и анализа изображения. Непосредственное применение ИПСП к исходному изображению (без использования предобработок) обеспечивает значительное сохранение полезной информации. Алгоритм позволяет получить изображения утонщенных границ. Граничная точка определяется как середина контурного перепада. Бинаризация изображения осуществляется с порогом, выбранным в зависимости от уровня шума, где значение порога находится по гистограмме этого же изображения.

Алгоритм обнаружения границ объектов дискретных полутоновых изображений основан на таком же принципе, как и алгоритм утоншения, описанный в предыдущем параграфе, и состоит из следующих этапов:

1. Формирование функции $H(x, y, q)$ на основе ИПСП.
2. Выбор максимальной ширины сегмента границы $2w_{\max} + 1$ ($w \in [1, w_{\max}]$).
3. Формирование и разложение функции $H^K(x, y, q, w)$ в функции $H_1^K(x, y, q)$ и $w(x, y, q)$:

$$H_1^K(x, y, q) = \max_{w=1..w_{\max}} H^K(x, y, q, w),$$

$$w(x, y, q) = w' : H^K(x, y, q, w') = H_1^K(x, y, q).$$

4. Разложение $H_1^K(x, y, q)$ и $w(x, y, q)$ в изображения границ $H_1(x, y)$, ориентации $q(x, y)$ и полуширины фильтра $w(x, y)$:

$$H_1(x, y) = \max_{q=0..\pi-\Delta q} H_1^K(x, y, q),$$

$$q(x, y) = q', w(x, y) = w(x, y, q') : H_1^K(x, y, q') = H_1(x, y).$$

5. Поиск локальных максимумов:

$$H_2(x, y) = \begin{cases} H_1(x, y), H_{1,2}^K(x, y, q, w) > 0, \\ 0 \end{cases}$$

$$H_3(x, y) = \begin{cases} H_2(x, y), H_2(x_{i+1}, y_{i+1}) = 0 \text{ и } H_2(x, y) \geq H_2(x_{i+1}, y_{i+1}), \\ 0. \end{cases}$$

i - номер средней точки эталона Q_2 с ориентацией $q(x, y) + \pi/2$.

6. Бинаризация полученного изображения.

Для формирования векторного изображения сцены дефектов разработан алгоритм соединения точек перепадов (прослеживания), позволяющий преобразовывать выделенные границы в цепной код в зависимости от угла наклона каждого сегмента, полученного в результате ИПСП. Пример графического представления алгоритма соединения перепадов яркости приведен на рис. 1,а.

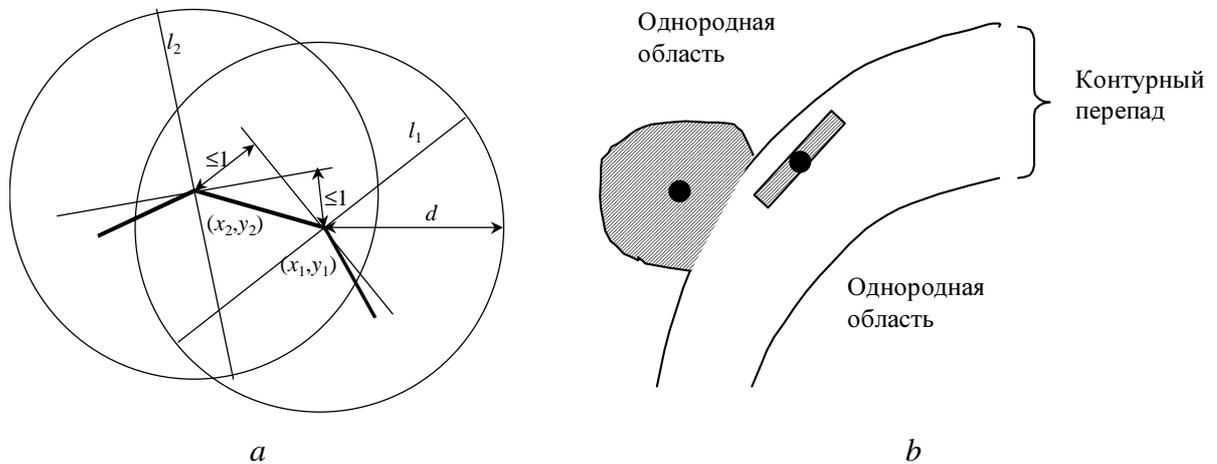


Рис. 1.

Сегменты в точках (x_1, y_1) и (x_2, y_2) (рис. 1,а) являются смежными, если удовлетворяют следующим условиям:

1. Расстояние между точками (x_1, y_1) и (x_2, y_2) не больше, чем длина сегмента:

$$(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 \leq d^2.$$

2. Следующий сегмент находится по направлению прослеживания, т.е. отделен прямой l_1 :

$$(x_1 - x_2) \cos q_1 + (y_1 - y_2) \sin q_1 = 0,$$

где q_1 – ориентация первого сегмента.

3. Расстояние между осью первого сегмента и центром второго сегмента (x_2, y_2) не больше, чем минимальное расстояние между соседними пикселями:

$$|(x_1 - x_2) \sin q_1 - (y_1 - y_2) \cos q_1| \leq 1,$$

что обеспечивает гибкость получаемой линии.

4. Первый сегмент должен обладать свойствами 2 и 3 по отношению ко второму.

С целью предварительной обработки дефектоскопических и металлографических снимков создан алгоритм подавления шума на основе ИПСП, обеспечивающий фильтрацию аддитивного шума как на однородных областях изображений, так и на зонах перепадов, без смазывания границ(рис. 1, *b*).

Для четкого выявления областей объектов на снимках разработан алгоритм подчеркивания границ на полутонных изображениях, позволяющий устранять зоны перепадов яркости. Алгоритм также основан на использовании ИПСП. Изначально производится получение параметрических пространств $H(x, y, q)$, $H_1(x, y)$, $w(x, y)$, $q(x, y)$, $k(x, y)$. В зависимости от уровня шума изображение делится на области перепадов яркости и на однородные области.

$$H_2(x, y) = \begin{cases} \sum_{i=-w+1}^0 H(x_i, y_i, q), & \text{если } t(x, y) = 1, \\ \sum_{i=0}^{w-1} H(x_i, y_i, q), & \text{если } t(x, y) = 0, \end{cases}$$

Однородные области сглаживаются.

$$H_2(x, y) = \frac{\sum_i H(x_i, y_i, q(x, y))}{N}$$

при $H_1(x, y) < p$. Далее области перепадов делятся по линии границы и сливаются с соответствующими однородными областями.

$$H_3(x, y) = \begin{cases} H_2(x, y), & \text{если } H_1(x, y) < p, \\ \min_{i=-w+1, \dots, 0} (H_2(x_i, y_i)), & \text{если } s(x, y) = 0, t(x, y) = 1, \\ \max_{i=-w+1, \dots, 0} (H_2(x_i, y_i)), & \text{если } s(x, y) = 1, t(x, y) = 1, \\ \min_{i=0, \dots, w-1} (H_2(x_i, y_i)), & \text{если } s(x, y) = 1, t(x, y) = 0, \\ \max_{i=0, \dots, w-1} (H_2(x_i, y_i)), & \text{если } s(x, y) = 0, t(x, y) = 0, \end{cases}$$

Для выделения площадных объектов на снимках созданы алгоритмы сегментации, основанные на наращивании областей и квантовании мод гистограммы. Алгоритм использует также признаки, полученные в результате ИПСП. В качестве предобработки для получения четких контуров областей применяется алгоритм подчеркивания границ.

Разработанные алгоритмы обработки изображений, позволяют повысить оперативность и достоверность анализа снимков площадных объектов с размытыми контурными перепадами на сцене наномасштабных снимков, что предоставляет большую точность при вычислениях характеристик объектов снимка. Ряд алгоритмов, описанных выше, ускоряет исследовательский процесс, за счет исключения ручных вычислений и сведения к минимуму возможности ошибки в расчетах.

В качестве примера использования разработанных алгоритмов, приводится снимок вкраплений теллурида кадмия в фуллерене, где специализированный микроскоп дал при съемке большое количество шума и размытых границ объектов.

Последовательно применяя алгоритмы, основанные на интегральном преобразовании по сегменту полосы, получаем изображение, без высокой степени зашумленности, где границы объектов были точно определены путем вычисления среднего значения градиента яркости.

Обработанный снимок удобен для дальнейших вычислений и анализа, так как содержит только полезную информацию об объектах наномасштабного снимка.

Таким образом, в работе проведен комплексный обзор направлений обработки наномасштабных изображений. В рамках исследований была разработана система алгоритмов, основанных на интегральном преобразовании по сегменту полосы и позволяющих повысить оперативность анализа снимков наноматериалов, а также сделать результаты исследований результаты более точными.

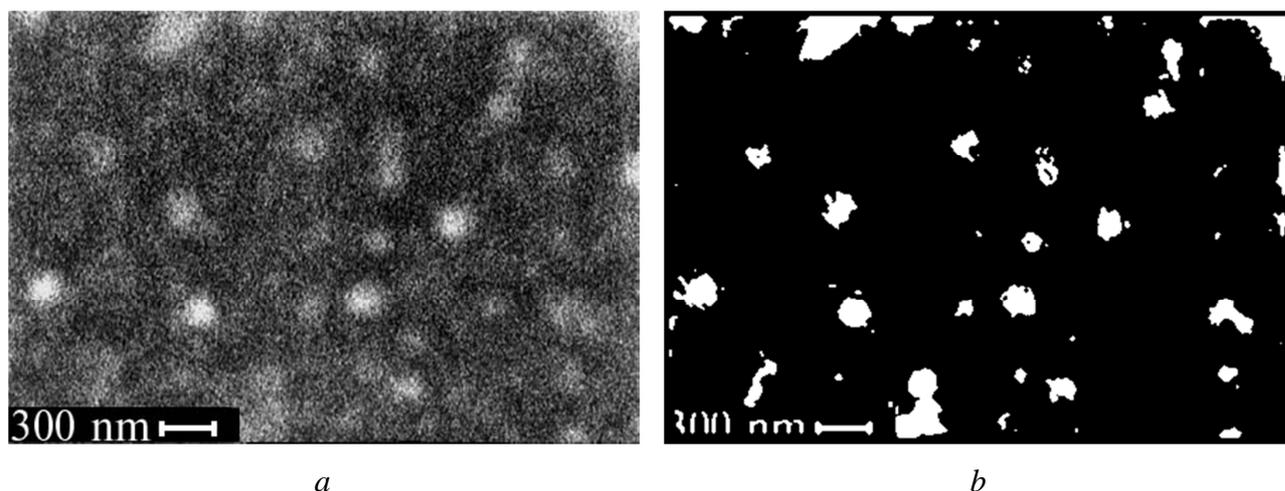


Рис. 2.

Работа поддержана грантом РФФИ № 11-07-97515

Список литературы

1. Куприянов А.В. Анализ текстур и определение типа кристаллической решетки на наномасштабных изображениях // Компьютерная оптика – 2011, т.35. №2. С.151-157
2. Меньшиков Е.А., Большакова А.В., Виноградова О.И., Яминский И.В. Методы анализа АСМ-изображений тонких пленок блок-сополимеров // Физикохимия поверхности и защита материалов – 2009, т.45. №1. С.1-4

3. Морозов И.А. Анализ микроструктуры наполненной резины при атомно-силовой микроскопии // Механика композиционных материалов и конструкций – 2009. №1. С. 83
4. Орлов, А.А. Способы реализации алгоритмов интегральных преобразований изображений по линиям [Текст] / А.А. Орлов // Программные продукты и системы. - 2008, №1. С.70-72.
5. Орлов А.А., Антонов Л.В. Метод предварительной обработки изображений микро- и наноструктур // Алгоритмы, методы и системы обработки данных – 2011, №3
6. Орлов А.А., Ермаков А.А. Технология сравнения и идентификации растровых изображений линий // Программные продукты и системы. - 2008, №1. С.68-70.
7. Орлов А.А., Ерин А.М. Алгоритм контурного обнаружения объектов на полутоновых изображениях // Данные, информация и их обработка: Сборник научных статей. - М.: Горячая линия – Телеком, 2002. С.9-14.
8. Орлов А.А., Канунова Е.Е. Цифровая обработка текста на изображениях рукописей как линейчатых объектов // Информационные технологии. - 2008, №1. С.57-62
9. Сойфер В.А., Куприянов А.В. Анализ и распознавание наномасштабных изображений: традиционные подходы и новые постановки задач. // Компьютерная оптика – 2011, т.35, №2. С.136-143
10. Чукланов А.П., Бородин П.А., Зиганшина С.А., Бухараев А.А. Алгоритм для анализа АСМ-изображений поверхностей со сложной морфологией // Учебные записки Казанского государственного Университета – 2008, т.150. С.220 -227

Рецензенты:

Жизняков А.Л., д.т.н., профессор, зав. кафедрой САПР МИ (ф) ВлГУ, г. Муром.
Андрианов Д.Е., д.т.н., доцент, зав.кафедрой ИС МИ (ф) ВлГУ, г. Муром.