

Учреждение образования Белорусский
государственный университет информатики и
радиоэлектроники

УДК 004.932

Ловецкий
Михаил, Юрьевич

Обработка изображений с атомного силового микроскопа

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-45 80 02 Телекоммуникационные системы и компьютерные
сети

Научный руководитель
Астровский Иван Иванович
к.т.н., доцент

Минск 2020

Введение

Атомно-силовая микроскопия часто является наиболее информативным методом исследования поверхности и результатов ее модификации в субмикро- и наноразмерном диапазоне, поэтому технологии анализа структуры материалов на основе АСМ в настоящее время интенсивно развиваются. Процесс получения данных о поверхности происходит путем движения зонда по исследуемому образцу. Получаемый растр хранится в формате массива целых чисел. Каждый элемент массива обозначает высоту или интенсивность сил, действующих в точке.

На сегодняшний день актуальной проблемой является создание алгоритмов для анализа АСМ-изображений, которые часто являются единственным способом контроля поверхностей при разработке технологий, направленных на модификацию нано-размерного поверхностного слоя. Исследуемые изображения в свою очередь могут содержать разнообразные артефакты, возникающие при атомно-силовой микроскопии: нелинейность сканера, температурный дрейф, смещение линий сканирования и др.

В представленной работе проведена оценка эффективности алгоритмов и программных средств сегментации, обеспечивающих выделение областей изображений, соответствующих элементам поверхностей неорганических материалов. Также разработаны: алгоритм параметризации и разбиения топографического пространства на симплексы, учитывающий особенности изображений атомно-силовой микроскопии, обеспечивающий описание материалов; алгоритм фильтрации АСМ-изображений на основе форм-факторов сегментов; алгоритм высокоточного совмещения и сшивки АСМ-изображений с использованием геометрических параметров топографических элементов поверхностей.

Разработанные алгоритмы направлены на повышение скорости и точности обработки АСМ-изображений, что является существенным вкладом в развитие теории и практики обработки АСМ-изображений.

Общая характеристика работы

Объектом исследования являются алгоритмы обработки изображений атомно-силовой микроскопии (далее АСМ-изображений) поверхностей различных неорганических материалов.

Целью работы является повышение точности сшивки цифровых изображений атомно-силовой микроскопии неорганических материалов с использованием геометрических параметров топографических элементов поверхностей.

Выполнен аналитический обзор по различным темам, касающимся обработки АСМ-изображений, таких как: получение, сегментация, фильтрация, параметризация реперных точек, идентификация фрагментов поверхностей неорганических материалов, сшивка, обеспечивающая совмещение областей изображений поверхностей неорганических материалов.

Проведена оценка эффективности алгоритмов и программных средств сегментации, обеспечивающих выделение областей изображений, соответствующих элементам поверхностей неорганических материалов. Разработаны алгоритмы: параметризации и разбиения топографического пространства на симплексы, учитывающий особенности изображений атомно-силовой микроскопии; фильтрации АСМ-изображений на основе форм-факторов сегментов; высокоточного совмещения и сшивки АСМ-изображений с использованием геометрических параметров топографических элементов поверхностей.

Результаты исследовательской работы могут использоваться при исследовании поверхностей различных неорганических веществ с помощью атомно-силовой и сканирующей-зондовой микроскопии.

Основные результаты исследований были представлены на конференциях: «Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии: XIII Международная конференция» и «Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации: XVII Международная конференция», а также опубликованы в 4 статьях.

Проведена экспертиза диссертации Ловецкого Михаила Юрьевича «Обработка изображений с атомного силового микроскопа» на корректность использования заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: <http://nlb.antiplagiat.ru>) в режиме on-line 13.06.2020 г. В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов (оригинальность работы составляет 84,84 %). Итоговый протокол работы сетевого ресурса «Антиплагиат» прилагается.

Краткое содержание работы

В основе работы АСМ лежит взаимодействие сил между исследуемой поверхностью и специальных датчиков где острый зонд закреплен на упругой консоли. Сила, действующая со стороны поверхности на зонд, приводит к сгибанию консоли. Регистрируя величину получившегося сгиба, можно контролировать силу взаимодействия зонда с поверхностью.

Определение размера структурных составляющих является одной из ключевых задач материаловедения при определении зависимости «структура–свойства». Атомно-силовая микроскопия часто выступает наиболее информативным методом исследования поверхности и результатов ее модификации в субмикро- и наноразмерном диапазоне. При установлении размеров различных объектов на поверхности в автоматическом режиме одной из проблем является сегментация АСМ-изображений, позволяющая провести линию раздела между объектом и фоном или двумя объектами. Анализ базовых методов и алгоритмов сегментации изображений показал следующее:

1 Методы сегментации на основе пороговой обработки имеют низкую вычислительную сложность и высокое быстродействие, но не эффективны для сегментации сложных изображений и чувствительны к шуму.

2 Метод сегментации на основе выращивания областей обеспечивает однозначную сегментацию, занимает второе место по вычислительной сложности и быстродействию после методов пороговой сегментации, но имеет высокую вероятность ошибки сегментации изображений с плавными изменениями яркости.

3 Методы сегментации на основе водораздела имеют узкую область применения, ограниченную изображениями с небольшими вариациями уровней яркости и малыми значениями градиента, чувствительны к шуму, сегментируют с ошибками неоднородные изображения, не разделяемые четко на объекты и фон.

Для устранения отмеченных недостатков был разработан алгоритм сегментации АСМ-изображений на основе волнового выращивания областей локальных максимумов (ВОЛМА), связывающий процессы выбора начальных точек и роста областей с изменением значения порога яркости пикселей АСМ-изображения от максимума к минимуму. Это обеспечит автоматический выбор и упорядочивание начальных точек роста по яркости, одинаковую скорость роста областей вне зависимости от их локализации, размеров и формы, но с учетом их яркости, а также полную сегментацию изображения. Сущность алгоритма состоит в использовании изменяющегося от максимума к минимуму порога яркости для выбора пикселей, которые образуют точки роста областей (локальные максимумы)

или присоединяются к существующим областям (смежные с пикселями, включенными в области и имеющими такую же или большую яркость).

Для объективной оценки результатов сегментации АСМ-изображений сформирован набор из 3 тестовых АСМ-матриц, элементы которых содержат информацию о расстояниях от подложки до поверхностей расположенных на ней тестовых объектов одинакового размера. Для оценки ошибок сегментации используется набор бинарных масок.

Разработанный алгоритм сегментации позволяет устранить ошибки сегментации АСМ-изображений, характерные для алгоритмов-аналогов. В сравнении с алгоритмами выращивания областей и водораздела Винсента–Солли разработанный алгоритм обеспечивает понижение скорости сегментации в 1,4 и 1,7 раза соответственно. Из этого можно сделать вывод, что разработанный алгоритм увеличивает точность нахождения границ объектов находящихся на поверхности неорганических материалов, при этом существенно проигрывает в скорости работы.

АСМ-изображения, как и другие цифровые изображения подвержены воздействию различного шума, который может зависеть от технологии оцифровывания данных. Для устранения большого числа мелких фоновых деталей на АСМ-изображениях можно применять Гауссов фильтр, который является сглаживающим. Применение данного фильтра позволяет убрать лишний «шум», повышая точность сегментирования. Также был разработан алгоритм, позволяющий исключить из дальнейшего анализа сегменты, форм-фактор которых отличается от типичных, для рассматриваемого объекта, материалов.

Произведена оценка эффективности алгоритмов и программных средств геометрической идентификации обособленных областей на изображениях атомно-силовой микроскопии (далее АСМ-изображений), обеспечивающих формирование логических соответствий между фрагментами двух совмещаемых АСМ-изображений на основе геометрических идентификаторов их областей.

Алгоритм на основе триангуляции был разработан специально для решения задачи параметризации и идентификации особых областей на АСМ-изображениях. Сущность алгоритма состоит в нахождении локального максимума в каждой из сегментированных областей, а затем соединения полученных точек с двумя ближайшими. конце выполнения алгоритма мы имеем набор треугольников, вершины которых соединяют все сегменты исходного изображения, а также матрицы углов и расстояний, описывающих эти треугольники.

Для сравнения с разработанным алгоритмом триангуляции были выбраны два распространенных алгоритма: SIFT и SURF.

Предложенный алгоритм способен с высокой точностью идентифицировать области на изображениях атомно-силовой микроскопии за счет более низкой скорости обработки. Алгоритм SIFT задачу идентификации выполняет в недостаточной степени для реализации функции сшивки соседних изображений. Алгоритм SURF на изображениях малого разрешения уступает алгоритму на основе триангуляции.

Для проверки работы алгоритма совмещения по дескриптору были выбраны тестовые изображения, синтезированные в программе для анализа АСМ-изображений Gwyddion, Matlab и изображения, полученные с помощью атомно-силового микроскопа. Поиск совпадений между двумя элементами происходил с автоматически подбираемым доверительным интервалом. Область пересечения задается долей в процентах от исходного изображения и расположена в центре и изменяется от 10 до 90 процентов.

Разработанный алгоритм с упрощенным дескриптором способен найти соответствия на синтезированных изображениях, имитирующих свойства АСМ-изображений. Наилучший результат алгоритм показывает на изображениях с относительно небольшими особыми областями и при их псевдослучайном расположении. С увеличением количества сегментов увеличивается точность срабатывания. Однако при уменьшении расстояния между особыми областями появляется процент ложных срабатываний. Этот негативный эффект можно убрать определением перемещения изображения по наиболее встречаемому значению, что исключит единичные случаи совпадающих особых точек.

Для каждой пары точек, идентифицированных на двух совмещаемых изображениях, находится разность оси ординат и абсцисс. Определяется наиболее часто встречаемое значение вероятности разности координат для всех совмещаемых точек. Данное значение принимается за величину смещения. Происходит совмещение двух изображений со смещением. Если особая точка уже определена на первом изображении, то исходная матрица остается без изменений – иначе происходит добавление отсутствующих элементов и перезапись исходной матриц. Полученное изображение может использоваться как основа для сшивки с последующими АСМ-изображениями;

Заключение

Разработанные алгоритмы направлены на повышение точности и скорости обработки АСМ-изображений за счет учета геометрических параметров их элементов, что является существенным вкладом в развитие теории и практики обработки АСМ-изображений. Результаты работы представляют интерес для предприятий и организаций Республики Беларусь, развивающих и использующих технологии атомной-силовой микроскопии для анализа и создания изображений поверхностей неорганических материалов.

Проведена оценка эффективности алгоритмов сегментации, обеспечивающих выделение областей изображений атомно-силовой микроскопии, соответствующих элементам поверхностей неорганических материалов. Проведен анализ эффективности алгоритмов.

Проведена оценка эффективности алгоритмов и программных средств параметризации, обеспечивающих описание областей изображений атомно-силовой микроскопии, соответствующих элементам поверхностей неорганических материалов. Разработан алгоритм параметризации и разбиения топографического пространства на симплексы, учитывающий особенности АСМ-изображений.

Так же разработан алгоритм фильтрации на основе поиска форм-факторов различных областей изображений и алгоритм нормализации, использующие алгоритм сегментации с помощью волнового выращивания областей в окрестности локальных максимумов в результате квазипараллельного присоединения соседних пикселей, имеющих близкие значения.

Разработан алгоритм сшивки АСМ-изображений, обеспечивающий уменьшение ошибки совмещения областей изображений поверхностей неорганических материалов. Показано, что разработанный алгоритм позволяет произвести высокоточную сшивку АСМ-изображений, на основе найденных особых точек. Для корректной работы алгоритма необходимо нахождение определенного числа особых точек, которые будут иметь одинаковое смещение по оси абсцисс и ординат. Количество особых точек можно уменьшить с помощью фильтрации и задания более строгих условия для первоначальной сегментации и поиска точек

Список опубликованных работ

1 – А. Рабцевич В.В. Выделение объектов АСМ-изображений на основе волнового выращивания областей локальных максимумов / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков, М.Ю. Ловецкий, Т.А. Кузнецова, С.А. Чижик // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии: XIII Международная конференция (Минск, 16-19 октября 2018 г.) – Минск : Беларуская навука, 2018. – С. 318-323.

2 – А. Рабцевич, В. В. Регрессивный алгоритм сегментации АСМ-изображений на основе волнового выращивания областей / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков, Ловецкий М. Ю. // Мониторинг техногенных и природных объектов: сб. материалов междунар. научн. -техн. конф. / редкол. : Батура М. П. [и др.]. – Минск: БГУИР, 2017. – С. 77 – 84.

3 – А. Рабцевич В.В. Выравнивание яркости АСМ-изображений по высотам их равноразмерных объектов / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков, М.Ю. Ловецкий // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации: XVII Международная конференция (Минск, 20 сентября 2018 г.) – Минск : Беларуская навука, 2018. – С. 190-195.

4 – А. Ловецкий М. Ю. Обработка цифровых АСМ-изображений на основе геометрических параметров топографических элементов поверхностей/ М.Ю. Ловецкий // Инфокоммуникации: материалы 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22 - 26 апреля 2020 г. – Отправлено в печать