

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ОБЪЕДИНЕНИЯ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ С НАИЛУЧШИМИ ВЕСОВЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

А.А. ШВАЯ¹, А.Д. РОБАЧЕВСКИЙ¹, М.Ю. ЛОВЕЦКИЙ¹, И.И. ЛЕВОНЕНКО^{1,2},
В.В. ЧЕПИКОВА¹

1 – Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь,

2 – ОАО «Пеленг», Республика Беларусь

Поступила в редакцию 18 февраля 2025

Аннотация. В данной статье исследуется альтернативный метод объединения изображений, полученных из нескольких параллельных синхронных измерительных каналов атомного силового микроскопа (АСМ), с целью повышения качества детализации отдельных областей результирующего изображения. Предложен алгоритм, основанный на корреляционной зависимости двух изображений и размерах объектов в отдельных областях. Для определения размера объектов используется алгоритм сегментирования SRG (Seeded Region Growing)

Ключевые слова: локальная корреляционная метрика, взвешенное сложение, SRG, оценка качества комбинирования изображений.

Введение

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) использует параллельные синхронизированные измерительные каналы, поэтому для более точного анализа поверхности материала необходимо использовать объединение компонентных АСМ-изображений, а также их корреляционную зависимость для оценки качества результирующего АСМ-изображения. Это значительно упрощает визуальный анализ, в отличие от других известных методов, например [1, 2].

Существует множество известных метрик [3–6], позволяющих оценить качество изображения, однако для АСМ-изображений наилучшим образом подходит метрика, основанная на локальной корреляции [7]. Здесь вычисление размера окна локальной корреляционной метрики приводит к крайне низкой скорости обработки. В [8] описан метод, повышающий скорость определения размера рассматриваемого окна, который в дальнейшем и будет использоваться.

Целью работы является разработка и реализация алгоритма объединения АСМ-изображений, обеспечивающего высокое качество результирующего изображения.

Оценка качества комбинирования АСМ-изображений на основе коэффициента локальной корреляции

Для оценки качества конечного изображения применяется локальная корреляционная метрика $D_L(k)$, для которой необходимо найти коэффициенты локальной корреляции $r_L(A, B)$ двух АСМ-изображений.

Коэффициенты локальной корреляции $r_L(A, B)$ вычисляется по формуле

$$r_L(A, B, p) = \frac{\sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} |a(y, x) - a_L(y, x, p)| |b(y, x) - b_L(y, x, p)|}{\sqrt{\sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} (a(y, x) - a_L(y, x, p))^2 \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} (b(y, x) - b_L(y, x, p))^2}}, \quad (1)$$

где $a_L(y, x, p), b_L(y, x, p)$ – средние значения яркостей пикселей в окрестности пикселя с координатами (y, x) и размерами $p \times p$ пикселей изображений A и B соответственно, $a_L(y, x, p) = \frac{1}{p^2} \sum_{j=0}^p \sum_{i=0}^p a(y+j, x+i)$, $b_L(y, x, p) = \frac{1}{p^2} \sum_{j=0}^p \sum_{i=0}^p b(y+j, x+i)$.

Для определения размера окна, используемого для вычисления локальной корреляционной метрики, будут учитываться преобладающие размеры сегментов, выделяемых на компонентных АСМ-изображениях с помощью параллельного выращивания областей локальных экстремумов (SRG).

Локальная корреляционная метрика $D_L(k)$ вычисляется по формуле

$$D_L(k) = \frac{r_L(M_c, M_1, k) + r_L(M_c, M_2, k)}{|r_L(M_c, M_1, k) - r_L(M_c, M_2, k)| r_L(M_1, M_2, 0,5)}. \quad (2)$$

С помощью метрики (2) можно определить наилучшее значение k . Для этого осуществляется перебор всех возможных значений коэффициентов k в диапазоне $[0;1]$ с шагом 0,01 (для повышения производительности алгоритма можно уменьшить диапазон или увеличить шаг).

Из рис. 1 можно увидеть, что на гистограммах размеров областей имеется не один экстремум, а сами эти области хаотично расположены по всему изображению. Это все необходимо учитывать для достижения наилучшего качества результирующего АСМ-изображения. Альтернативный алгоритм объединения АСМ-изображений делит изображения на отдельные области (блоки), для дальнейшей обработки и выявления наилучшего коэффициента k .

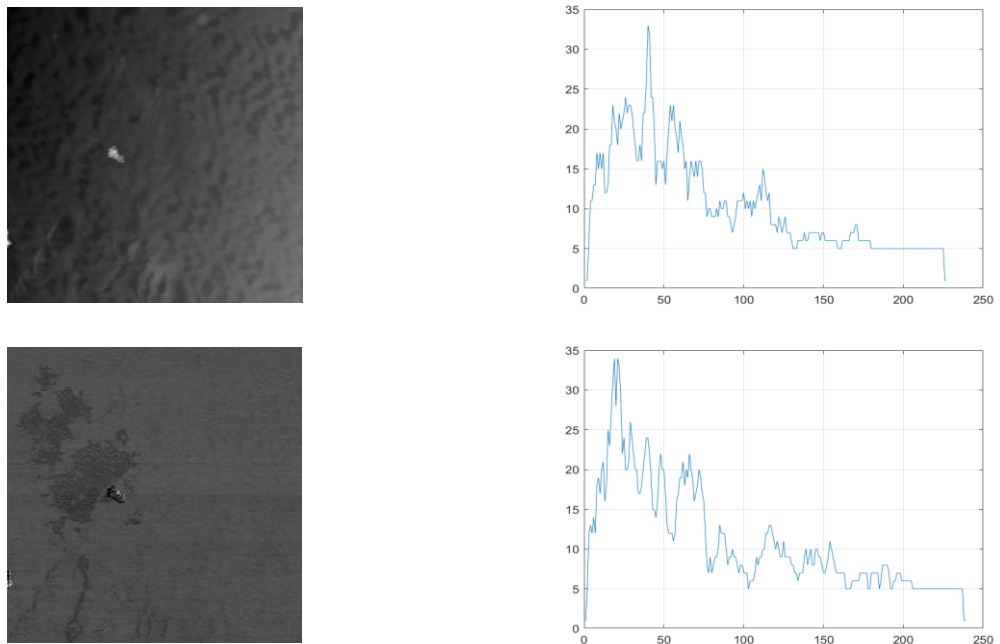


Рис. 1. Компонентные АСМ-изображения и гистограммы размеров их областей

Алгоритм поблочного SRG слияния АСМ-изображений

В ходе исследований рассматривается каждая область (блок) изображения как отдельная часть и определяется для нее наилучший коэффициент k , при котором $D_L(k)$ будет достигать максимальных значений. Шаг смещения блока будет равен его размеру. Перед началом вычислений необходимо провести сегментацию изображений методом SRG. Поскольку мы разбиваем изображение на области, возникает неточность с нахождением размера p окна, так как размеры сегментов, расположенных на границах рассматриваемой области, могут быть обрезаны и, следовательно, неверно определены. Есть два способа решения данной проблемы: алгоритм, который не будет учитывать сегменты, части которых выходят за границы рассматриваемой области; и алгоритм, который на основе целого изображения рассчитывает размеры всех сегментов, выходящих за границы рассматриваемой области изображения. В ходе исследований будет использоваться второй метод.

В зависимости от размеров рассматриваемого блока, на гистограмме размеров областей могут появляться несколько явных экстремумов, что вызывает необходимость исследовать каждый из них. Из-за этого явления на один блок приходится несколько коэффициентов p . Необходимо провести данные операции на двух АСМ-изображениях.

В результате получается набор разных коэффициентов p , для каждого из которых необходимо найти наибольшее значение $D_L(k)$ при переборе коэффициентов k . На конечном этапе объединения двух блоков выбирается значение k , при котором $D_L(k)$ было максимальным. На рис. 2 приведены примеры результирующего изображения при разных размерах блоков.

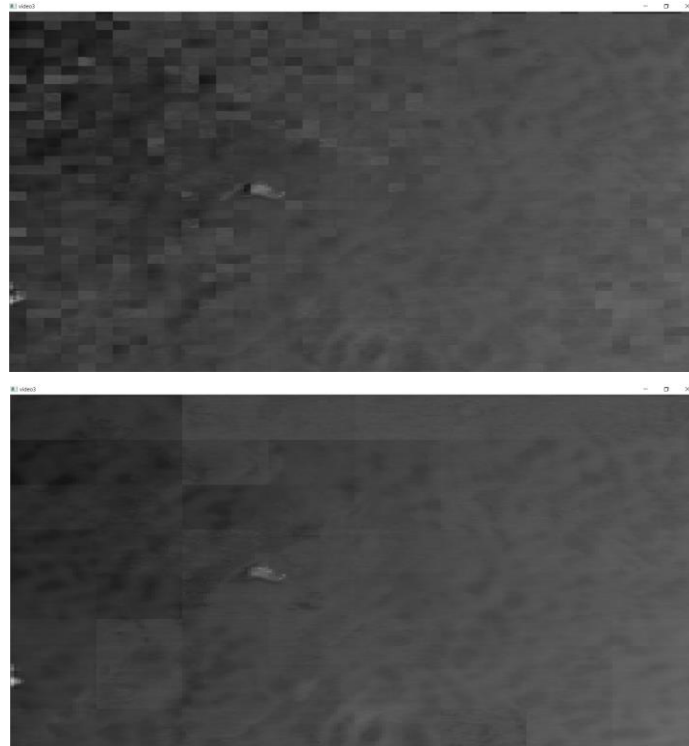




Рис. 2. Результирующие АСМ-изображения при размере блока: 5, 25, 50

Заключение

Для эффективной работы алгоритма необходимо подбирать оптимальный размер блока. При слишком маленьком размере рассматриваемой области наблюдается аномалия, вызванная слишком малым количеством сегментов для корректного анализа.

При больших размерах блоков на рассматриваемой области наблюдается избыток сегментов, что также приводит к некачественному анализу данного блока.

Дальнейшая апробация алгоритма предполагает выбор оптимальных размеров блоков в соответствии с размерами деталей, а также текстур на протяженных фрагментах исследуемого изображения.

IMAGE QUALITY IMPROVEMENT BASED ON THE ALGORITHM OF COMBINING AFM IMAGES WITH THE BEST WEIGHT COEFFICIENTS

A.A. SHVAYA, A.D. ROBACHEVSKI, M.Yu. LAVETSKI, I.I. LIIVONENKA,
V.V. CHEPIKOVA

Abstract. This article explores an alternative method of combining images obtained from several parallel synchronous measuring channels of an atomic force microscope (AFM) in order to improve the quality of detail of individual areas of the resulting image. An algorithm based on the correlation dependence of two images and the size of objects in separate areas is proposed. A segmentation algorithm is used to determine the size of objects SRG (Seeded Region Growing).

Keywords: local correlation metric, weighted addition, SRG, image combination quality assessment.

Список литературы

1. Jifeng S., Yuanjiao J., Shaoyong Z. // Proceedings of the SPIE International Conference on Space Information Technology. 2008. Vol. S98S. P. 739-744.
2. Zhang A.K., Dare. Y.P. // ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing. 2007. Vol.62, No. 4. P.249-263.
3. Piella G., Heijmans H. // Proceedings International Conference on Image Processing (Cat. No.03CH37429). 2003. P. 111-173.
4. Qu G., Zhang D., Yan P. // Opt. Express. 2001. Vol. 9. P. 184-190.
5. Aslantas V., Bendes E. // AEU – International Journal of Electronics and Communications. 2015. P. 1890-1896.
6. Han Y., Cai Y., Cao Y., Xu X. // Inf. Fusion. 2013. Vol. 14. No. 2. P. 127–135.
7. Petrovic V., Xydeas C. // Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05). 2005. Vol. 1, P. 1866-1871.
8. Взвешенное сложение АСМ-изображений на основе локальной корреляции с учетом размеров их областей = Weighted composition of AFM images based on local correlation with account the sizes of their areas / М. Ю. Ловецкий [и др.] // Технологии передачи и обработки информации : материалы Международного научно-технического семинара, Минск, апрель 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: В. Ю. Цветков [и др.]. – Минск, 2024. – С. 5–10.