

УДК 004.451.353:537.533.35

АЛГОРИТМ РЕГРЕССИВНОГО ВОЛНОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ОБНАРУЖЕНИЕМ ГРАНИЦ



В.В. Рабцевич
Аспирантка БГУИР



В.Ю. Цветков
Заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий БГУИР, доктор технических наук, доцент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь
E-mail: rabceвичv@bsuir.com

Аннотация. Предложена модификация алгоритма сегментации АСМ-изображений на основе регрессивного волнового выращивания областей, учитывающего уровень квантования для присоединения новых элементов и градиент для нахождения границ каждого сегмента. Проведено сравнение разработанного алгоритма с известными алгоритмами сегментации, основанными на выращивании областей и градиенте.

Ключевые слова: сегментация, АСМ-изображения, выращивание областей, водораздел, градиент.

Введение. Сегментация изображений, получаемых при атомно-силовой микроскопии (далее АСМ) является первостепенной задачей для дальнейшего анализа данных. С повышением точности сегментации увеличивается разрешение изображений наноструктур, используемых при дальнейшем анализе поверхностей. Точное определение размеров нанобъектов играет важную роль в нанотехнологиях [1].

Целью данной статьи является модификация алгоритма выращивания областей за счет учета уровня квантования для выбора присоединяемых к областям элементов [2] и значения градиента для остановки роста и нахождения границ областей. Модифицированный алгоритм будет сравниваться с оригинальным алгоритмом регрессивной волновой сегментации, предложенным в [2], морфологическим водоразделом с автоматической расстановкой маркеров, и нахождением границ с помощью операторов Собеля, Кэнни, Приютта и Робертса [3].

Описание алгоритма. На первом этапе формируется матрица всех значимых пикселей, которые будут принадлежать максимальному (первому) уровню квантования, подвергающемуся сегментации.

Каждая отдельная область, найденная на первом этапе, сегментируется с помощью алгоритма выращивания областей и заносится в матрицу сегментации. На основе этой матрицы создается стек «предков», который состоит из всех граничных пикселей, каждой найденной области на данном этапе.

Для каждого граничного пикселя в стеке «предков» находится группа связанных с ним пикселей «потомков», принадлежащих нижележащему уровню.

Для каждой пары пикселей «предок-потомок» ищется разница значений, если она меньше заданной, то пиксель «потомок» становится «предком» и для него повторяется поиск новых «потомков». Если разница значений пары пикселей «предок-потомок» больше заданной разницы, «предок» объявляется граничным пикселем. В дальнейшем граничный пиксель не может стать точкой роста для нового сегмента или присоединиться к уже существующему. Работа алгоритма представлена на рисунок 1

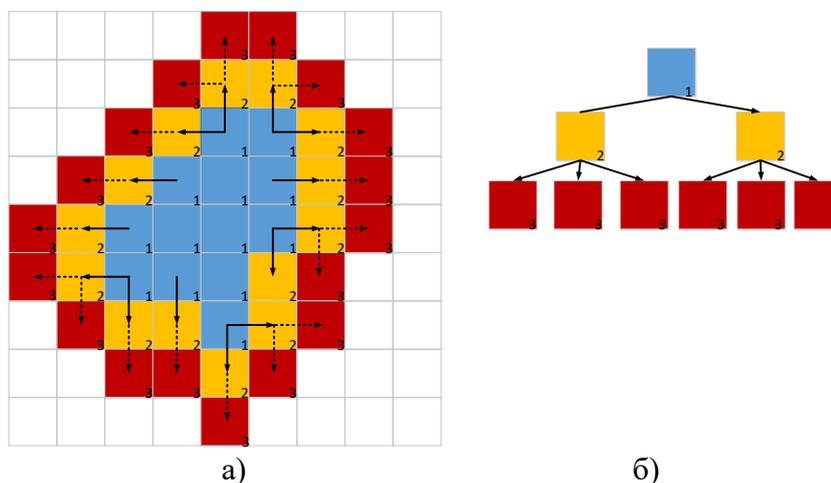


Рисунок 1. Работа модифицированного алгоритма сегментации: а) – добавление пикселей в сегмент: блоки под цифрой 1 обозначают пиксели, являющиеся «предками»; блоки под цифрой 2 обозначают пиксели, являющиеся «потомками», если разница между блоком 1 и 2 не превышает заданную разницу, блок «потомков» становится новым «предком»; блоки под цифрой три показывают новых «потомков»; б) – дерево «предков» и «потомков»

Для оценки эффективности модифицированного алгоритма регрессивного волнового выращивания областей использован набор тестовых изображений с разной степенью размытости (рисунок 2). Исходное тестовое изображение с четкими границами представлено на рисунке 2а. На рисунке 3 представлены профили яркости тестовых изображений. Профили яркости определялись горизонтально по центру каждой пары совмещенных полу-сфер.

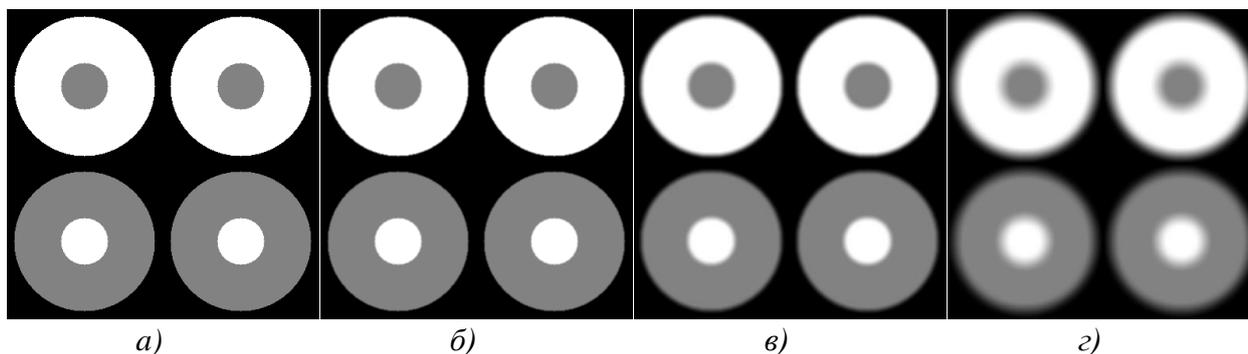


Рисунок 2. Тестовые АСМ-изображения: а) – четкие границы; б), в), г) – плавные границы

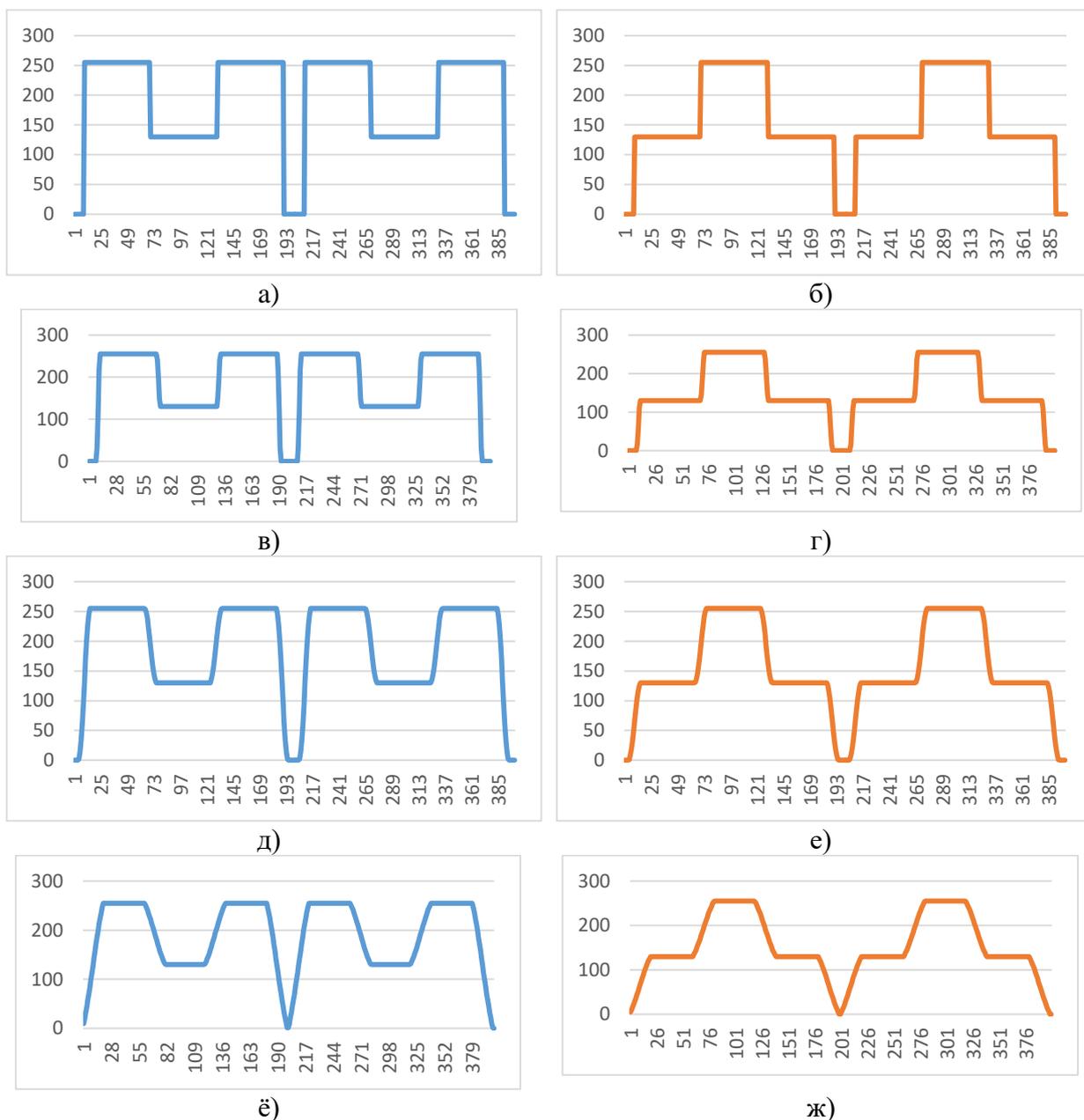


Рисунок 3. Профили яркости: а),б) – первого тестового АСМ-изображения с четкими границами; в),г) – второго тестового АСМ-изображения с плавными границами; д),е) – третьего тестового АСМ-изображения с плавными границами; ё),ж) – четвертого тестового АСМ-изображения с плавными границами

Далее представлены результаты сегментации различными алгоритмами: модифицированное регрессивное волновое выращивание областей с автоматическим поиском границ (рисунок 4), оригинальный алгоритм регрессивного волнового выращивания (рисунок 5а – без остановки, рисунок 5б, 5в, 5г, 5д – с остановкой); алгоритм морфологического водораздела с автоматической расстановкой маркеров (рис. 6); результаты поиска границ с помощью операторов: Собеля (рисунок 7а), Кэнни (рисунок 7б), Приютта (рисунок 7в) и Робертса (рисунок 7г).

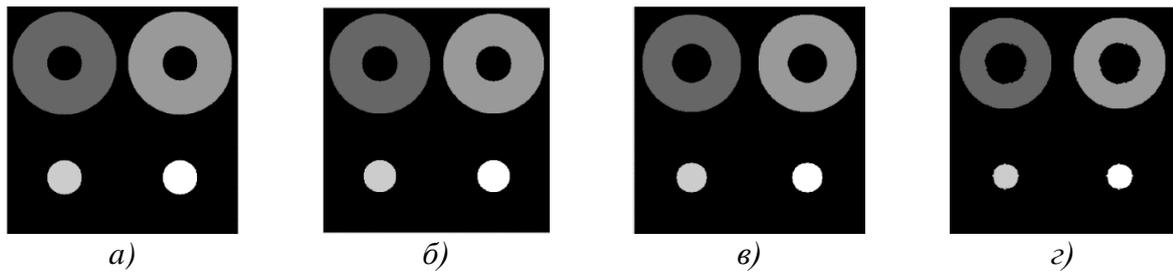


Рисунок 4. Результаты работы модифицированного алгоритма регрессивного волнового выращивания областей с автоматическим поиском границ

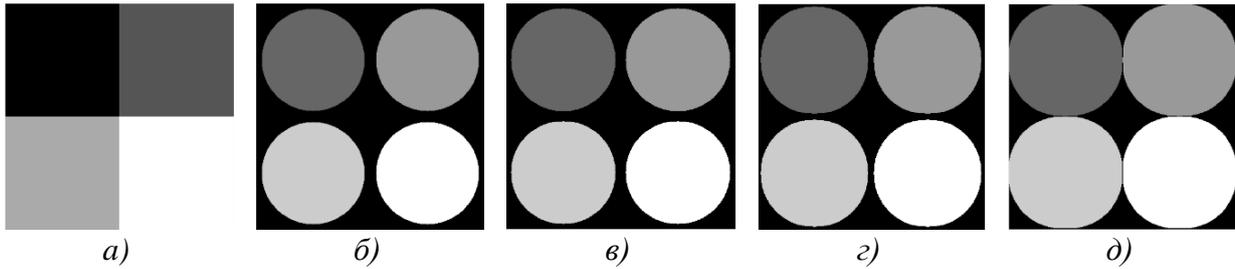


Рисунок 5. Результаты сегментации изображения оригинальным алгоритмом: а) – результат сегментации без дополнительных условий останки для четырех тестовых изображений; б),в),г),д) – сегментация с дополнительными условиями останки для каждого из четырех тестовых изображений

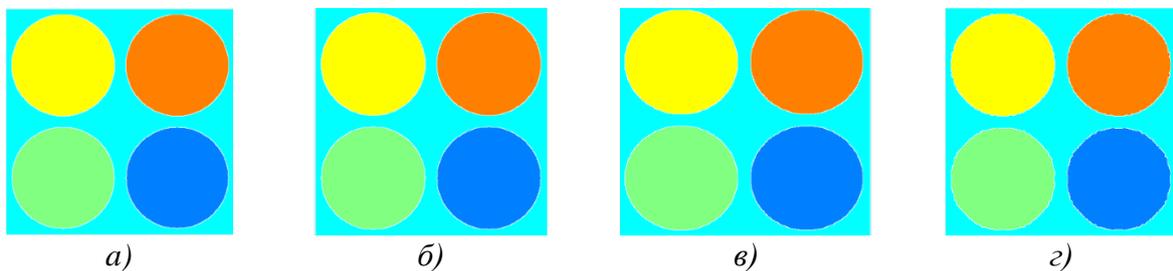


Рисунок 6. Результаты работы морфологического водораздела с автоматической расстановкой маркеров

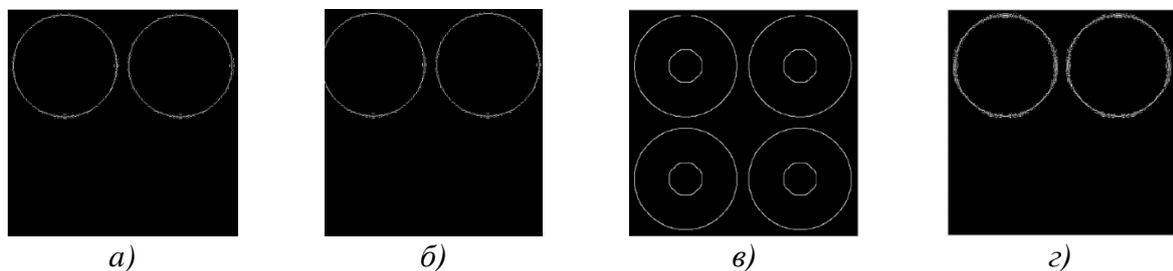


Рисунок 7. Результат работы операторов детектирования границ для четвертого тестового изображения (рис. 3г): а) – оператор Собеля; б) – оператор Кэнни; в) – оператор Приютта, г) – оператор Робертса

Как видно на представленных данных, модифицированный алгоритм позволяет найти границу раздела двух сегментов вне зависимости от плавности переходов между ними. Другие алгоритмы, базирующиеся на поиске градиента, приводят к недостаточной сегментации и требуют предварительной обработки. Например, при поиске границ с помощью оператора Кэнни требуется предварительная фильтрация изображения, что снижает точность получаемых данных (возможно частичное слияние нескольких объектов на разном уровне).

Для количественной оценки работы рассмотренных алгоритмов использовано тестовое изображение, состоящее из девяти полусфер с плавным спадом яркости (рисунок 8а). Оценка производилась с помощью маски (рисунок 8б), путем подсчета недосегментированных или пересегментированных пикселей.

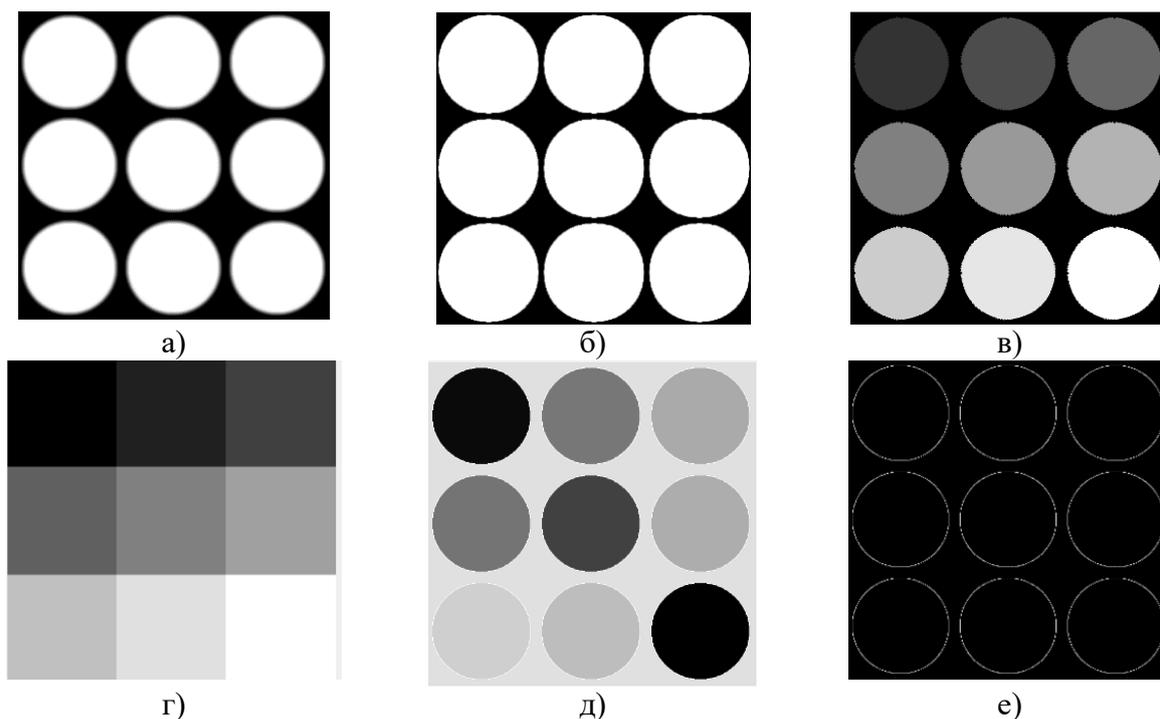


Рисунок 8. а) – исходное тестовое изображение; б) – маска; в) результат сегментации модифицированным алгоритмом; г) – результат сегментации исходным алгоритмом без применения дополнительных условий для остановки; д) – результат сегментации морфологическим водоразделом с автоматической расстановкой маркеров; е) – результат применения оператора Кэнни

Заключение. Анализ результатов сегментации показывает, что тестовое АСМ-изображение без ошибок сегментирует оригинальный алгоритм регрессивного волнового выращивания областей путем присоединения к областям новых элементов с учетом их уровня квантования с принудительной остановкой на заданном уровне. Недостатки проявляются на изображениях, где нет четкого деления на фон и объекты. Работа этого алгоритма без остановки не способна выделить границы объектов при наличии фона. Алгоритм морфологического водораздела с автоматической расстановкой маркеров может точно указать границы объектов только в случае их однородности, при наложении объектов друг на друга, маркерный водораздел не способен указать границы различных областей. С помощью оператора Кэнни можно найти границы объектов, однако он требует предварительной фильтрации, которая может вносить значительную погрешность. Модифицированный алгоритм регрессивного волнового выращивания областей также вносит ошибку при поиске границ, однако ее можно регулировать с помощью порога и увеличения или уменьшения

деревя «предок-потомок».

Литература

- [1]. Чуклапов, А.П. Алгоритм для анализа асм-изображений поверхностей со сложной морфологией // А.П. Чуклапов, П.А. Бородин, С.А. Зигапшипа, А.А. Бухараев // Ученые записки казанского государственного университета. – Казань, 2008. –Т. 150, кн. 2. - С. 220-227
- [2]. Рабцевич, В. В. Алгоритм регрессивного волнового выращивания областей для сегментации изображений / В. В. Рабцевич, М. Ю. Ловецкий, В. А. Панас // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 15-й Международной научно-технической конференции. - Минск : БНТУ, 2017. - Т. 1. - С. 269.
- [3] Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing / R.C. Gonzalez, R.E.Woods, –Pearson Education, 2008: 954 P

REGRESSIVE WAVE ALGORITHM OF AREAS GROWING FOR AFM-IMAGES WITH AUTOMATIC BORDER DETECTION

V.V. RABTSEVICH

Postgraduate student of the BSUIR

V.YU. TSVIATKOU

*Doctor of Engineering Sciences
Head Infocommunication Technologies
Department BSUIR, Associate professor*

*Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics, Republic of Belarus
E-mail: rabcevichv@bsuir.by*

Abstract. Modification of the AFM image segmentation algorithm based on regression wave growth allows to take into account the level of quantization for adding new elements and a gradient to detect the boundaries of each segment was proposed. A comparison was made of the developed algorithms with known algorithms.

Keywords: segmentation, AFM image, cultivation, watershed, gradient.