

УДК 004.451.353:537.533.35

## ОЦЕНКА ОШИБОК СЕГМЕНТАЦИИ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ



**В.В. Рабцевич**  
Аспирантка БГУИР



**А.Т. Нгуен**  
Магистрант БГУИР



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

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

**Аннотация.** Предложен метод сегментации АСМ-изображений на основе регрессивного волнового выращивания областей путем присоединения к областям новых элементов с учетом их уровня квантования. Проведено сравнение данного метода с наиболее распространенными методами сегментации.

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

**Введение.** Сегментация изображений высокого разрешения, формируемых атомным силовым микроскопом (далее АСМ-изображений), является нетривиальной задачей обработки больших данных. Точность сегментации во многом определяет результаты конечных авторизированных процедур обработки. По этой причине повышенное внимание должно быть уделено надежности первичной сегментации [1]. Цель сегментации заключается в упрощении и/или изменении представления изображения, чтобы его было проще и легче анализировать. В стандартных задачах, сегментация обычно используется для того, чтобы выделить объекты и границы. Результатом сегментации изображения является множество сегментов, которые вместе покрывают всё изображение, или множество контуров, выделенных из изображения. Пиксели в сегменте похожи по некоторой характеристике или вычисленному свойству, например, по цвету, яркости или текстуре. Соседние сегменты значительно отличаются по этой характеристике. Особенности рассматриваемых в данной статье изображений заключается в том, что яркость каждого отдельного фрагмента несет информацию о высоте его расположения в пространстве (чем ярче точка на изображении, тем выше она находится, аналогично самым тусклым точкам соответствует нахождение элемента на подложке).

Целью статьи является оценка ошибок сегментации АСМ-изображений с помощью различных методов.

Для оценки ошибок сегментации используется бинарная маска. Полученные посредством различных алгоритмов матрицы сегментации сопоставляются с маской, и вычисляется нормированная ошибка  $E_S$  сегментации с помощью выражения  $E_S = E_O + E_I$ , где

$E_O = \frac{\sum_{i=1}^9 S_o(i)}{S_E}$  – нормированная ошибка избыточной сегментации для каждого из девяти

участков ;  $E_i = \frac{\sum_{i=1}^9 S_i(i)}{S_E}$  – нормированная ошибка недостаточной сегментации;  $i$  – порядковый номер тестового объекта (в нашем случае 9 участков на изображении);  $S_E$  – число значимых элементов маски;  $S_o(i)$  – число пикселей сегмента, соответствующего  $i$ -у тестовому объекту, попадающих на незначимые элементы маски;  $S_i(i)$  – число значимых элементов маски, соответствующих  $i$ -у тестовому объекту, не попадающих на пиксели соответствующего сегмента. Полученная величина нормированной ошибки является безразмерной.

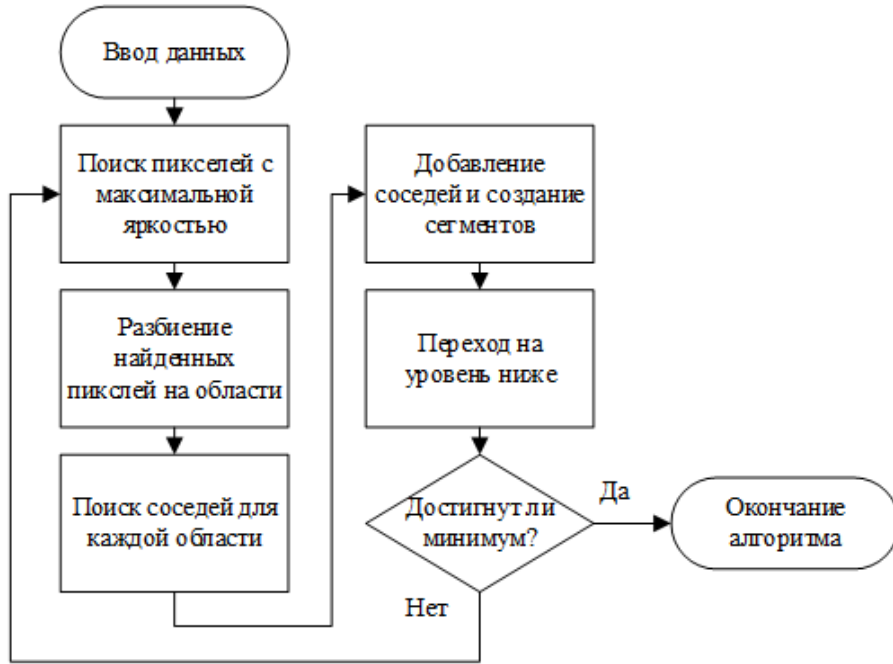


Рисунок 1. Блок-схема метода регрессивного волнового выращивания областей

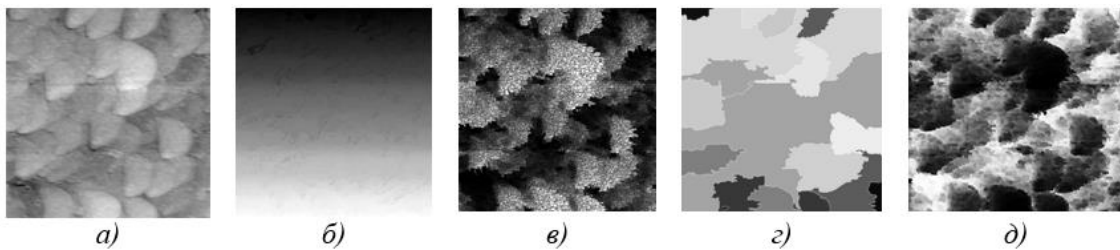


Рисунок 2. АСМ-1: а) – исходное изображение; б) – результат сегментации методом выращивания областей; в) – результат сегментации методом водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли; г) – результат сегментации методом маркерного водораздела; д) – результат сегментации разработанным регрессивно волновым методом выращивания областей

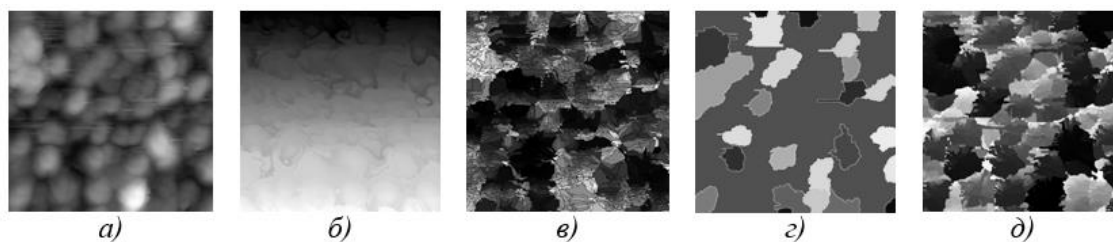


Рисунок 3. АСМ-2: а) – исходное изображение; б) – результат сегментации методом выращивания областей; в) – результат сегментации методом водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли; г) – результат сегментации методом маркерного водораздела; д) – результат сегментации разработанным регрессивно волновым методом выращивания областей

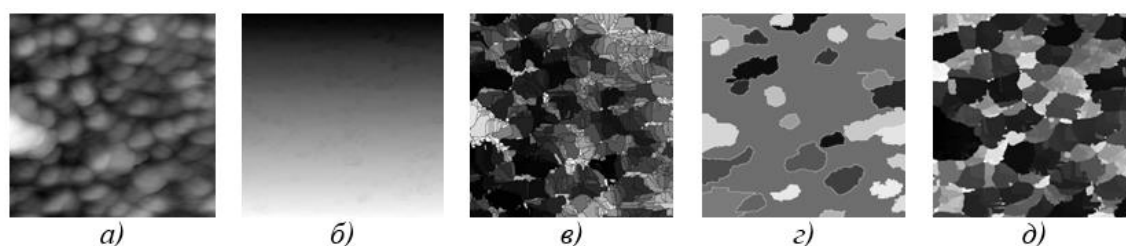


Рисунок 4. АСМ-3: а) – исходное изображение; б) – результат сегментации методом выращивания областей; в) – результат сегментации методом водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли; г) – результат сегментации методом маркерного водораздела; д) – результат сегментации разработанным регрессивно волновым методом выращивания областей

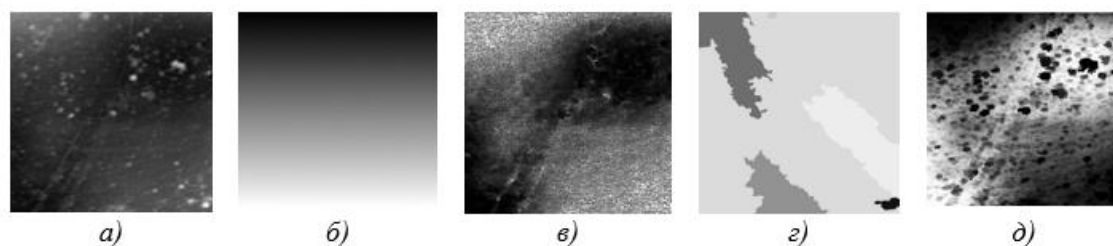


Рисунок 5. АСМ-4: а) – исходное изображение; б) – результат сегментации методом выращивания областей; в) – результат сегментации методом водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли; г) – результат сегментации методом маркерного водораздела; д) – результат сегментации разработанным регрессивно волновым методом выращивания областей

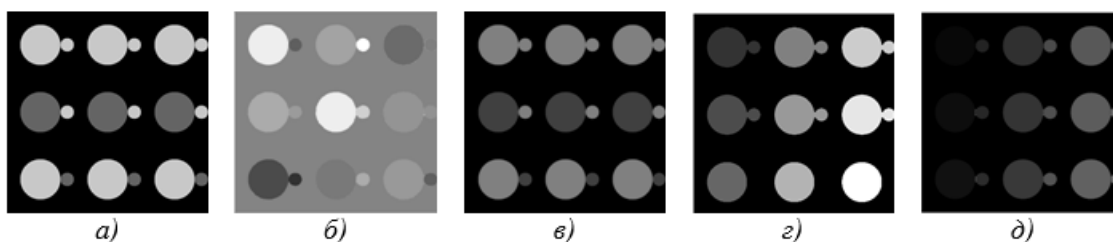


Рисунок 6. Синтезированные изображения: а) – исходное изображение; б) – результат сегментации методом выращивания областей; в) – результат сегментации методом водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли; г) – результат сегментации методом маркерного водораздела; д) – результат сегментации разработанным регрессивно волновым методом выращивания областей

Из табл. 1 следует, что тестовое АСМ-изображение с относительно небольшой ошибкой сегментирует метод маркерного водораздела. В методах выращивания областей и водораздела ошибка возрастает в среднем на  $75 \cdot 10^{-3}$  по сравнению с разработанным методом регрессивного волнового выращивания областей, который дает нулевую ошибку сегментации на тестовом изображении.

Как видно из представленных данных метод выращивания областей не дает возможности локализовать отдельные сегменты из-за чрезмерной пересегментации. Метод водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли также приводит к возникновению лишних сегментов, особенно это проявляется на изображениях с нечеткими границами. Метод морфологического маркерного водораздела без участия оператора приводит в свою очередь к недостаточной сегментации изображений, множество сегментов теряются. Разработанный регрессивный волновой метод выращивания областей дает возможность разбить исходное изображение на сегменты, однако он очень чувствителен к артефактам на изображении, которые приводят к ложным сегментам на изображении.

Таблица 1

Значения нормированных ошибок сегментации для тестового АСМ-изображения

Ошибки	Значения нормированных ошибок сегментации ( $\times 10^{-3}$ ) для методов:			
	Регрессивного волнового выращивания областей	Маркерного водораздела	Выращивания областей	Винсента-Солли
$E_0$	0	0	42.151	73.579
$E_r$	0	17.948	78.292	0
$E_s$	0	17.948	78.334	73.579

Установлено, что при реализации в Matlab метод регрессивного волнового выращивания областей обеспечивает в среднем в 53 раз меньшую скорость работы по сравнению с маркерным водоразделом, и в 10 раз большую скорость работы по сравнению с методами выращивания областей и водораздела Винсента-Солли. При реализации на C++ метод регрессивного волнового выращивания областей обеспечивает в среднем в 1,3 раза меньшую скорость работы по сравнению с маркерным водоразделом, в 1,4 и 1,6 раз большую скорость работы по сравнению с выращиванием областей и водоразделом по алгоритму Винсента-Солли соответственно (с учетом временных затрат на расстановку маркеров оператором и использованием дополнительных методов сегментации для простановки номеров сегментов).

*Заключение.* Анализ результатов сегментации тестовых АСМ-изображений показал, что методы на основе водораздела и выращивания областей выделяют области с существенной ошибкой, связанной с пересегментацией или избыточной сегментацией. Безошибочную сегментацию обеспечивает метод регрессивного волнового метода выращивания областей за счет выбора начальных точек роста областей по уровням квантования, начиная с наибольшего, и квазипараллельного увеличения областей в результате постепенного присоединения к ним соседних элементов, принадлежащих нижнему смежному уровню квантования.

#### Список литературы

- [1]. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing / R.C. Gonzalez, R.E.Woods, – Pearson Education, 2008: 954 P.
- [2]. Рабцевич, В. В. Алгоритм регрессивного волнового выращивания областей АСМ-изображений / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы международного научно-технического семинара. В 2 ч. Ч. 2 (Минск, апрель – декабрь 2016 г.). – Минск: БГУИР, 2016. – С. 41 – 47.
- [3]. Eaton P., West P. Atomic Force Microscopy / P. Eaton, P.West, – OUP, 2010. 257 P.

## **EVALUATION OF ACM -IMAGE SEGMENTATION ERROR**

**V.V. RABTSEVICH**  
*Postgraduate student of  
the BSUIR*

**A.T. NGUEN**  
*Master student of  
the BSUIR*

**V.YU.TSVIATKOU,**  
*Doctor of Engeneering 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.** Proposed algorithm segmentation of the atomic force microscopy images based on the regressive wave methods of region growing is proposed by attaching new elements to the regions taking into account their quantization level. This method is compared with the most common in the field of atomic force microscopy.

**Key words:** image segmentation, region growing, watershed, AFM-images.