

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГРАДИЕНТНОЙ ВОЛНОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.В. РАБЦЕВИЧ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 1 апреля 2024

Аннотация. Исследована эффективность алгоритма автоматической сегментации изображений, полученных с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ), основанного на квазипараллельном выращивании областей вокруг локальных максимумов. Алгоритм использует оценку изменения второй производной от яркости внутри области для присоединения к ней соседних пикселей. Произведено сравнение данного алгоритма с известными алгоритмами сегментации, разработанными для анализа АСМ-изображений, по количеству сегментов. Показано, что данный алгоритм способен определить границы объектов лучше, чем известные алгоритмы.

Ключевые слова: АСМ, поиск локальных максимумов, сегментация, градиент, ускорение.

Введение

При анализе неорганических наноструктур, полученных с помощью АСМ или сканирующей-зондовой микроскопии (СЗМ) используются алгоритмы сегментации, разработанные для выделения объектов на подложке в зависимости от их расположения относительно друг друга: группа объектов, расположенных на поверхности слитно (связанные структуры); отдельно расположенные объекты (несвязанные структуры); объекты со сложным расположением (смешанные структуры).

В общем случае, все алгоритмы сегментации можно разделить на три категории: без поиска начальных точек роста (пороговые алгоритмы сегментации, классический алгоритм выращивания областей, алгоритм слияния-расщепления, водораздел и т.д.); с поиском начальных точек роста с помощью предварительного анализа изображения (выращивание областей от начальных точек роста, маркерный алгоритм водораздела и т.д.); алгоритмы, которые используют ручное указание оператором начальных точек роста для областей. Достаточно высокую точность определения границ объектов показывают алгоритмы, осуществляющие сегментацию под контролем оператора, но они требуют предварительной подготовки изображений. Поэтому актуальной является разработка алгоритмов автоматической сегментации АСМ-изображений, не уступающих в точности определения границ объектов известным алгоритмам сегментации под контролем оператора. К алгоритмам автоматической сегментации АСМ-изображений относятся рассмотренные в [1–3] квазипараллельные алгоритмы.

Цель работы: оценка эффективности алгоритмов автоматической сегментации АСМ-изображений.

Алгоритм автоматической сегментации АСМ-изображений

На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма GWGA (Gradient Wave Growing Areas) автоматической сегментации АСМ-изображений, основанного на квазипараллельном выращивании областей вокруг локальных максимумов. Алгоритм использует оценку изменения второй производной от яркости внутри области для присоединения к ней соседних пикселей, аналогичен по структуре алгоритму волнового выращивания областей алгоритма [1] и является модификацией алгоритма [2].



Рис. 1. Блок схема алгоритма GWGA

Алгоритм GWGA производит квазипараллельное выращивание областей вокруг начальных точек роста, в пределах одного уровня яркости. Для каждого пикселя в сегменте отслеживается ускорение изменения яркости, при изменении которого пиксели помещаются в особую область, которая рассматривается как фон и разрастается параллельно остальным областям. Эта особенность алгоритма, увеличивает количество сегментов на один.

Оценка эффективности алгоритмов сегментации АСМ-изображений

Алгоритм GWGA сравнивался с известными алгоритмами сегментации: волнового выращивания областей локальных максимумов с их выбором в порядке убывания значений AWS (AWS-M) [1]; маркерного водораздела с автоматической расстановкой маркеров (MWA-M) [4]; водораздела на основе расстояний (MWD-M) [4]; выращивания областей без выбора начальных точек (RG-M) [5]; выращивания областей с выбором начальных точек на основе экстремумов (SRG-M) [6]; водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли (VSC-G) [7]; двухфазного водораздела (TPW-G) [1]. Для сравнения использовались реализации алгоритмов в среде Matlab (M) и пакете Gwyddion (G).

При оценке эффективности алгоритмов использованы тестовые АСМ-изображения поверхностей трех типов, синтезированные в Matlab: тип 1 – без размытия; типы 2 и 3 – с размытием (табл. 1). Оценка качества работы алгоритмов проводилась на основе средних (AD), максимальных (MaxDV) и минимальных (MinDV) значений разниц, стандартного отклонения (SD) для истинного числа сегментов (табл. 2).

Табл.1. Количество элементов на тестовых изображениях

Несвязная структура		Связная структура	
Тестовые изображения	Количество элементов	Тестовые изображения	Количество элементов
АСМ М1-1 – АСМ М1-20	9	АСМ М2-1 – АСМ М2-20	9
АСМ М1-21 – АСМ М1-50	18	АСМ М2-21 – АСМ М2-50	18
АСМ М1-51 – АСМ М1-70	100	АСМ М2-51 – АСМ М2-70	100
АСМ М1-71 – АСМ М1-80	221	АСМ М2-71 – АСМ М2-80	221
АСМ М1-81 – АСМ М1-90	200	АСМ М2-81 – АСМ М2-90	200

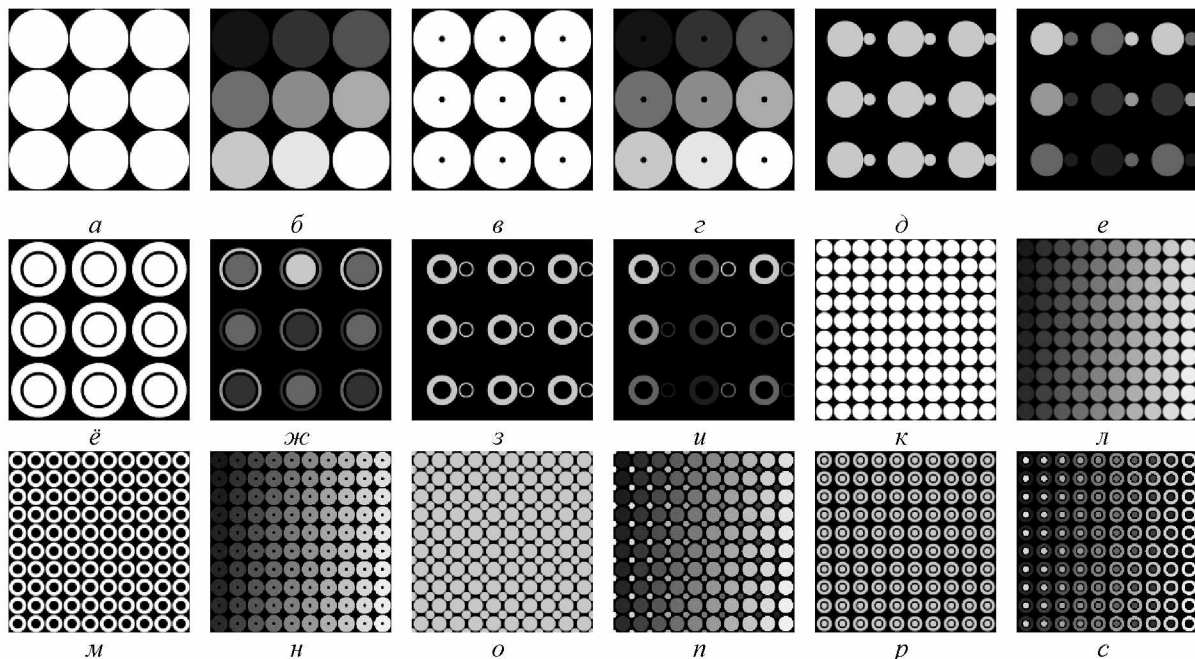


Рис.2. Тестовые полутоновые изображения несвязанных и связанных структур: а-г – 9 объектов; д-и – 18 объектов; к-л – 100 объектов; о-с – 220 объектов;

Табл. 2. Значения показателей качества сегментации на основе количества сегментов для тестовых АСМ-изображений несвязанных структур

Изображения	Показатель качества	Алгоритмы сегментации							
		GWGA	AWS-M	RG-M	MWA-M	MWD-M	SRG-M	TPW-G	VSC-G
Тип 1 (54 изображения)	AD	0,11	0,00	27,33	61,61	591,50	0,00	67,78	1,61
	MaxDV	1,00	0,00	101,00	219,00	2700	0,00	221,00	10
	MinDV	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
	SD	0,32	0,00	39,79	78,34	757,625	0,00	77,76	2,06
Тип 2 (54 изображения)	AD	0,62	0,61	23147,72	60,83	585,83	0,61	57,56	1,11
	MaxDV	9,00	9,00	51701	219,00	3100,00	9,00	241,00	2,00
	MinDV	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
	SD	2,12	2,12	166882,05	78,91	802,8876	2,06	86,39	0,32
Тип 3 (54 изображения)	AD	4,27	10,94	48294,06	55,22	561,06	6,94	67,61	8,89
	MaxDV	58,00	93,00	109201	199,00	2320,00	57,00	260,00	99,00
	MinDV	0,00	0,00	283,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
	SD	13,29	29,08	34723,59	68,12	700,40	17,82	90,83	23,86
Среднее значение AD по типам		1,67	3,85	23823,04	59,22	579,46	2,52	64,15	3,87

Из табл. 2 следует, что на АСМ-изображениях трех типов минимальное отклонение SD показывают алгоритмы GWGA, AWS, SRG-M и VSC-G. Алгоритм GWGA показывает результат в 2 раз лучше, чем AWS-M и VSC-G (несмотря на то, что VSC-G выполняется под контролем оператора), и в 1,5 раза лучше по сравнению с SRG-M, который требует предварительного определения начальных точек роста. Алгоритм RG-M приводит к значительной пересегментации.

ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF GRADIENT WAVE SEGMENTATION OF AFM-IMAGES

V. V. RABTSEVICH, V. Yu. TSVIATKOU

Abstract. The effectiveness of an algorithm for automatic segmentation of images obtained using atomic force microscopy (AFM), based on quasi-parallel growing of regions around local maxima, has been studied. The algorithm uses an estimate of the change in the second derivative of brightness within an area to attach neighboring pixels to it. This algorithm was compared with known segmentation algorithms developed for analyzing AFM images by the number of segments. It is shown that the developed algorithm is able to determine the boundaries of objects better than known algorithms.

Keywords: AFM, search for local maxima, segmentation, gradient, acceleration.

Список литературы

1. Рабцевич, В. В. Уровневые модели и волновые алгоритмы сегментации АСМ-изображений / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков // Технологии передачи и обработки информации : материалы международного научно-технического семинара. – Минск, БГУИР, 2022. – С. 50–56.
2. Рабцевич, В. В. Градиентно-волновое выращивание областей АСМ-изображений / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных : материалы международного научно-технического семинара. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 58–63.
3. Рабцевич, В. В. Оценка эффективности алгоритмов сегментации АСМ-изображений / В. В. Рабцевич, В. Ю. Цветков // Доклады БГУИР. – Минск: БГУИР, 52 2022. – Т. 20, № 6. – С. 61-69.
4. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. Third Edition. 2008: 798-800
5. Pratt W.K. Digital Image Processing. Third Edition. 2001:562-566
6. Fan M., Lee T. Variants of seeded region growing. Image Processing IET. 2015;9(6):478-485.
7. Vincent L., Soille P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1991;13:583-598.