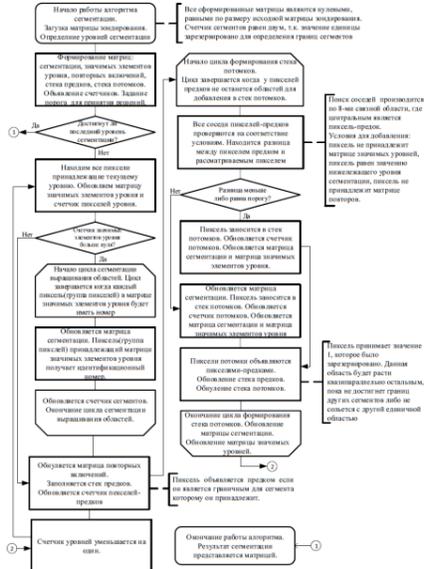


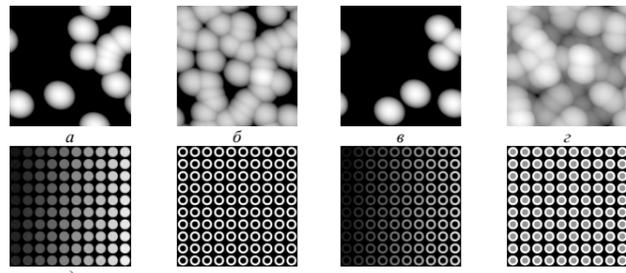
ГРАДИЕНТНО-ВОЛНОВОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.В. РАБЦЕВИЧ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

Предложен квазипараллельный градиентно-волновой алгоритм выращивания областей вокруг локальных максимумов в результате присоединения к ним соседних пикселей, которые не превышают пороговую скорость изменения градиента. Произведено сравнение с основными алгоритмами сегментации, применяемыми к изображениям атомно-силовой микроскопии (далее АСМ) по количеству сегментов, по однородности яркости сегмента и по контрасту между соседними сегментами. Показано, что разработанный алгоритм способен определить границы объектов, по выбранным критериям, лучше, чем известные алгоритмы.



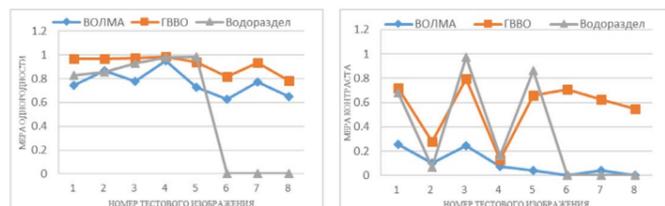
Блок-схема градиентно-волнового алгоритма сегментации АСМ-изображений



Тестовые пултоновые изображения: а – АСМ-1; б – АСМ-2; в – АСМ-3; г – АСМ-4; д – АСМ-5; е – АСМ-6; ж – АСМ-7; з – АСМ-8

Результат сравнения алгоритмов сегментации

№	Алгоритмы сегментации											
	ВОЛМА			Градиент			Водораздел			BG		
	КС	МО	МК	КС	МО	МК	КС	МО	МК	КС	МО	МК
АСМ-1	14	0,7426	0,2530	15	0,8663	0,7187	8	0,8290	0,6775	19085	1	0,0000
АСМ-2	47	0,8657	0,0997	48	0,8664	0,2764	6	0,8564	0,0668	38388	1	0,0000
АСМ-3	8	0,7754	0,2421	9	0,9737	0,7976	6	0,9301	0,9752	13960	1	0,0000
АСМ-4	47	0,9520	0,0708	48	0,9833	0,1279	10	0,9762	0,1612	32220	1	0,0000
АСМ-5	100	0,7272	0,0303	101	0,9417	0,6566	97	0,9864	0,8650	60061	1	0,0000
АСМ-6	100	0,6244	0,0000	101	0,8363	0,7094	1	0,0000	0,0000	119001	1	0,0000
АСМ-7	100	0,7710	0,0303	101	0,9349	0,6255	1	0,0000	0,0000	101145	1	0,0000
АСМ-8	100	0,6518	0,0000	101	0,7816	0,5474	1	0,0000	0,0000	112201	1	0,0000

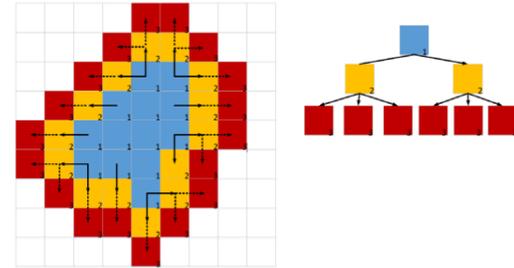


Результат работы алгоритмов сегментации: а – мера однородности для трех алгоритмов; б – мера контраста для трех алгоритмов

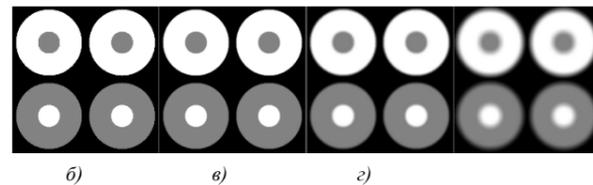
АЛГОРИТМ РЕГРЕССИВНОГО ВОЛНОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ОБНАРУЖЕНИЕМ ГРАНИЦ

В.В. РАБЦЕВИЧ, В.Ю. ЦВЕТКОВ

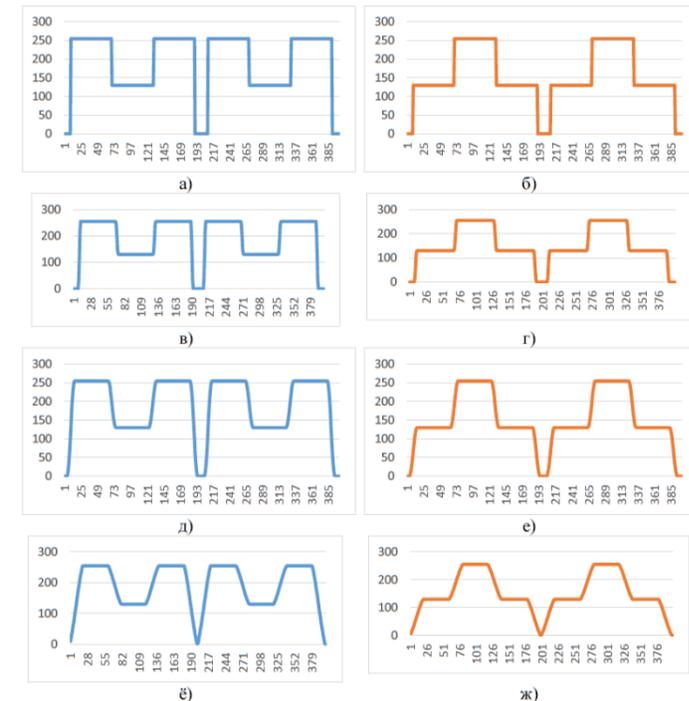
Предложена модификация алгоритма сегментации АСМ-изображений на основе регрессивного волнового выращивания областей, учитывающего уровень квантования для присоединения новых элементов и градиент для нахождения границ каждого сегмента. Проведено сравнение разработанного алгоритма с известными алгоритмами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



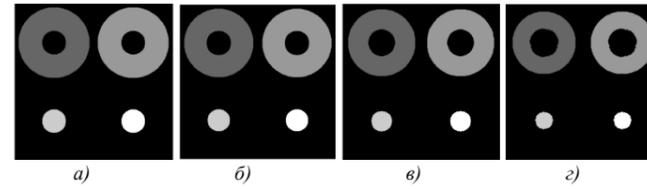
Работа модифицированного алгоритма сегментации: а) – добавление пикселей в сегмент; блоки под цифрой 1 обозначают пиксели, являющиеся «предками»; блоки под цифрой 2 обозначают пиксели, являющиеся «потомками», если разница между блоком 1 и 2 не превышает заданную разницу, блок «потомков» становится новым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



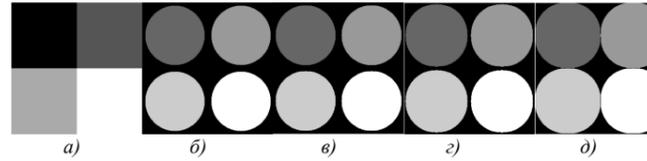
Тестовые АСМ-изображения: а) – четкие границы; б),в),г) – плавные границы



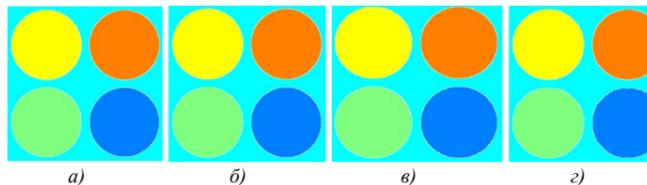
Профили яркости: а),б) – первого тестового АСМ-изображения с четкими границами; в),г) – второго тестового АСМ-изображения с плавными границами; д),е) – третьего тестового АСМ-изображения с плавными границами; ж) – четвертого тестового АСМ-изображения с плавными границами



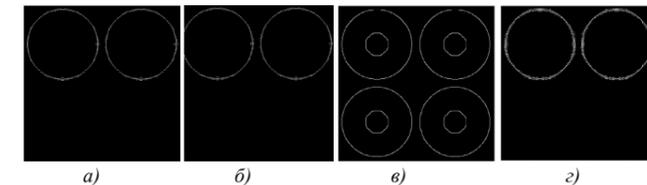
Результаты работы модифицированного алгоритма регрессивного волнового выращивания областей с автоматическим поиском границ



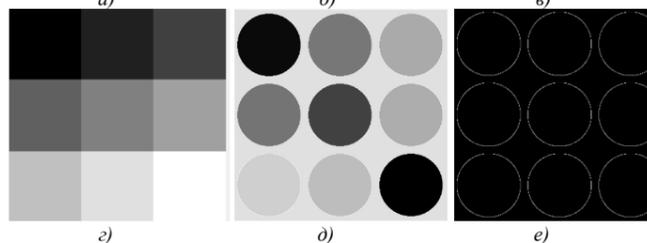
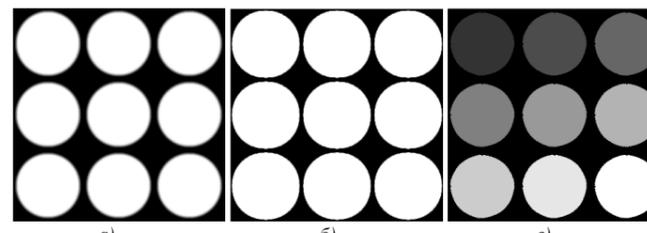
Результаты сегментации изображения оригинальным алгоритмом: а) – результат сегментации без дополнительных условий останова для четырех тестовых изображений; б),в),г),д) – сегментация с дополнительными условиями останова для каждого из четырех тестовых изображений



Результаты работы морфологического водораздела с автоматической расстановкой маркеров



Результат работы операторов детектирования границ для четвертого тестового изображения: а) – оператор Собеля; б) – оператор Кэнни; в) – оператор Приютта, г) – оператор Робертса

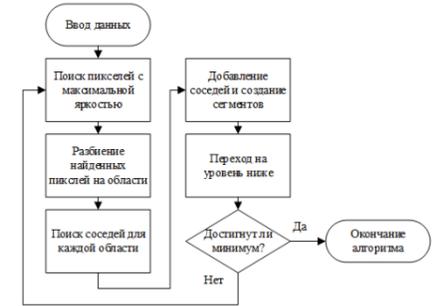


а) – исходное тестовое изображение; б) – маска; в) результат сегментации модифицированным алгоритмом; г) – результат сегментации исходным алгоритмом без применения дополнительных условий для останова; д) – результат сегментации морфологическим водоразделом с автоматической расстановкой маркеров; е) –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

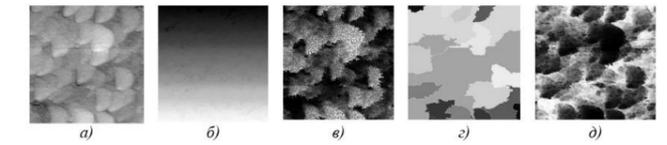
ОЦЕНКА ОШИБОК СЕГМЕНТАЦИИ АСМ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.В. РАБЦЕВИЧ, А.Т. НГУЕН, В.Ю. ЦВЕТКОВ

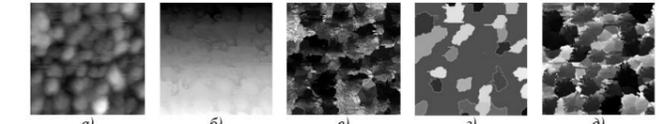
Предложен метод сегментации АСМ-изображений на основе регрессивного волнового выращивания областей путем присоединения к областям новых элементов с учетом их уровня квантования. Проведено сравнение данного метода с наиболее распространенными методами сегментации.



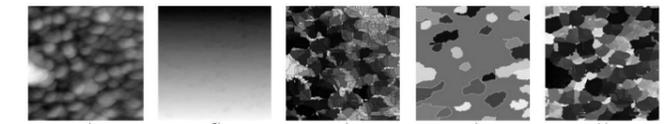
Блок-схема метода регрессивного волнового выращивания областей



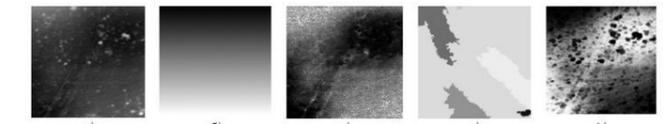
АСМ-1: а)-исходное изображение; б)-результат сегментации методом выращивания областей; в)-результат сегментации методом водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли; г)-результат сегментации методом маркерного водораздела; д)-результат сегментации разработанным регрессивно волновым методом выращивания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



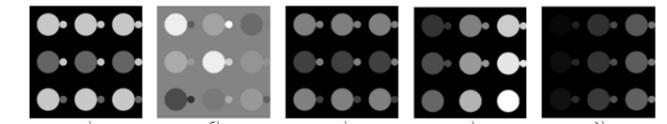
АСМ-2: а)-исходное изображение; б)-результат сегментации методом выращивания областей; в)-результат сегментации методом водораздела по классическому алгоритму Винсента-Солли; г)-результат сегментации методом маркерного водораздела; д)-результат сегментации разработанным регрессивно волновым методом выращивания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



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



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



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

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_I	0	17,948	78,292	0
E_S	0	17,948	78,334	73,579