

Л.В. АНТОНОВ, А.А. ОРЛОВ

**Экспериментальное исследование  
алгоритмов обработки снимков  
промышленных изделий**

УДК 004.942

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г.Муром

*В работе показаны результаты экспериментальных исследований разработанной алгоритмической базы, включающей: алгоритм выделения границ с помощью интегрального преобразования по сегменту полосы; алгоритм получения безразрывных границ объектов соединением точек перепадов; алгоритм выделения объектов как областей с одинаковой по всей площади каждой области яркости. Эксперименты для оценки качества алгоритмов проведены на специально созданных тестовых изображениях: идеальном с однородными объектами и искаженном с наложением шума. Результаты экспериментов подвергаются сравнительному анализу с результатами ряда существующих алгоритмов обработки снимков. В работе экспериментальные данные проанализированы и сделан вывод о точности и достоверности обработки созданных алгоритмов.*

*Работа поддержана грантом РФФИ № 11-07-97515*

В настоящее время обработка изображений выделилось практически в отдельную отрасль со своими специфическими целями и задачами. Обработка наномасштабных изображений задача довольно сложная, а спектр решаемых задач здесь весьма обширен. Необходимость получения данных о физических и химических свойствах вещества; определение геометрических показателей наночастиц или кластеров частиц; классификация и кластеризация объек-

тов наномасштабных снимков; определение статистических характеристик и соотношений в исследуемом объекте; создание компьютерных моделей исследуемого вещества с помощью восстановления трехмерных моделей с двухмерных снимков – все это приоритетные задачи в данной области, требующие решения для совершенствования производства промышленных материалов с целью снижения себестоимости продукции и увеличения оперативности мониторинга качества продукции.

Как говорилось в [1], современная база алгоритмов обработки снимков наноструктур несовершенна и вынуждает персонал проводить большое количество ручных вычислений. В [1] показано, что лишь малая часть алгоритмов обработки снимков наноструктур имеет программную реализацию.

Именно поэтому в [2-4], авторы показывают актуальность автоматического анализа линейчатых структур на наномасштабных снимках промышленных материалов и разрабатывают систему алгоритмов преобразований изображений по линейчатым структурам, а также создают алгоритмы предобработки снимка для достоверного выделения безразрывных структур на основе более точного вычисления градиента яркости и подчеркивании границ образов.

Целью настоящей работы является проведение тестирования разработанной алгоритмической базы [2-4] и анализ полученных результатов, который покажет достоверность разработанных алгоритмов.

Для оценки качества разработанных алгоритмов необходимо создать тестовое изображение, содержащее объекты с известными характеристиками. Тестовое изображение должно быть полутоновым и содержать объекты различной яркости, формы, площади, ориентации и т.д.

Для формирования тестового изображения использовалось искусственно созданное идеальное изображение, содержащее различные однородные объекты, т.е. на дискретном изображении каждый объект будет представлять собой совокупность точек, имеющих одинаковую яркость.

Формирование полутонового тестового изображения состоит из следующих этапов:

1) Формирование объектов различной формы, ориентации, площади, протяженности и яркости с четкими границами (формирование идеального изображения).

2) Сглаживание изображения (это позволяет смазать границы объектов, формируя яркостной перепад, что способствует появлению множеству других различных уровней яркости, и приближает характеристики формируемого изображения к характеристикам реального полутонового изображения).

3) Искажение изображения для внесения некоторой неоднородности, что достигается наложением на изображения искажающей функции.

4) Наложение шума на изображение (шум может быть различной природы и интенсивности).

После обработки исследуемыми алгоритмами результаты сравниваются с изображением, полученным на первом этапе формирования (идеальным изображением). Качество обработки алгоритмов может оцениваться как визуально (по форме объекта), так и при сравнении характеристик объектов (площадь, периметр, длина и т.д.) идеального и полученного изображения.

В данном случае формируются полутоновые дискретные черно-белые изображения, имеющие 256 градаций яркости. Искусственно созданное идеальное изображение для формирования тестового изображения, содержащее различные объекты, представлено на Рис. 1 Для формирования тестового изображения, эмулирующего реальное изображение с тремя доминирующими уровнями яркости, создано изображение, показанное на Рис 2.

За оценку алгоритмов подавления шума было взято среднее квадратичное отклонение идеального исходного и обработанного изображения:

$$K = \frac{\sum_i \sum_j (f(i, j) - g(i, j))^2}{N}$$

где  $f(i, j), g(i, j)$  - соответственно исходное и обработанное изображение,  $N$  - количество пикселей на изображении.

В качестве тестового изображения для оценки алгоритма подавления шума взят наномасштабный снимок с наложенным на него гауссовым шумом ( $\sigma = 10\%$ ) (Рис 3). Результаты исследования

усредняющего, медианного, сигма- фильтра и разработанного алгоритма подавления шума представлены [4]. В связи с тем, что усредняющий фильтр разрушает границы, медианный фильтр не обеспечивает подавление шума на однородных границах (при сравнении значений  $K$  видно, что вносятся дополнительные искажения), а сигма-фильтр не адаптивен к размерам маски и не учитывает направление границы, разработанный метод является наиболее эффективным.



Рис. 1. Искусственно созданное идеальное изображение, содержащее различные объекты (400x400x256)



Рис. 2. Искусственно созданное идеальное изображение с тремя уровнями яркости (400x210x256)

В работе производится сравнение разработанного алгоритма выделения границ с алгоритмом, основанным на детекторе Кониши.

Произведено исследование также: алгоритма непосредственного выделения границ с помощью ИПСП; алгоритма получения безразрывных границ объектов соединением точек перепадов; алгоритма выделения объектов как областей с одинаковой по всей площади каждой области яркости. Прослеживание границ выделенных областей позволяет получить безразрывный замкнутый контур объекта.

Таблица 1

Сравнение результатов подавления шума

Фильтр	Зашум- ленное изображе- ние	Усредня- ющий	Медиан- ный	Сигма- фильтр	Разрабо- танный
К	4,489	5,944	4,623	3,607	2,307

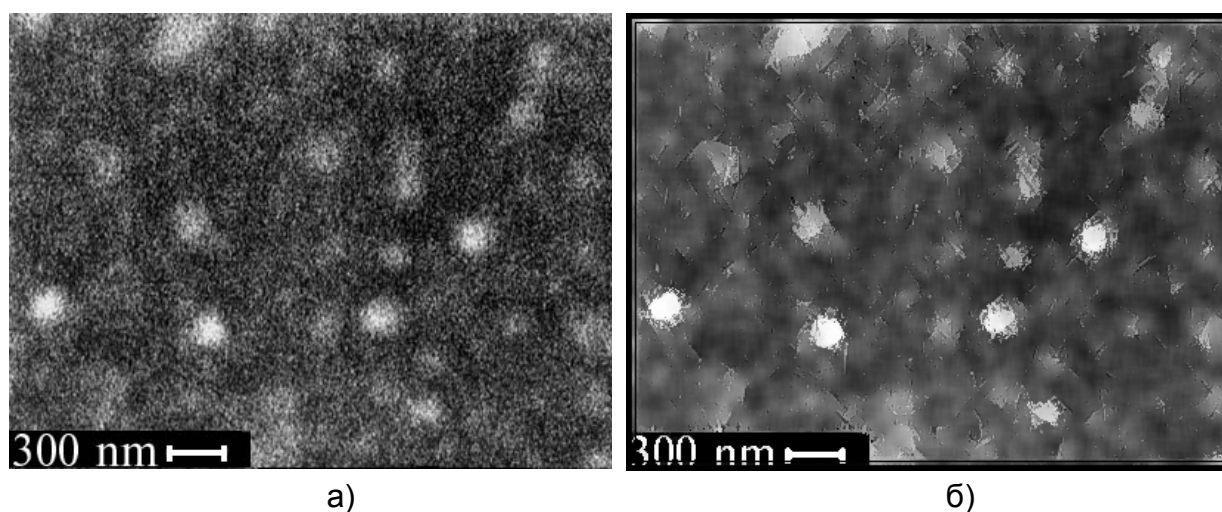


Рис. 3. Подавление шума на наномасштабном снимке

В ходе работы было выполнено исследование алгоритмов выделения границ на тестовых изображениях и сравнение их результатов. В качестве критерия точности выделения объектов были взяты следующие характеристики:

Количество граничных точек, совпадающих с точками идеального контура ( $N_1$ );

Количество контурных точек, не совпавших с идеальной границей ( $N_2$ );

Отношение количества контурных точек, которые не совпали с идеальной границей к количеству контурных точек, которые совпали с идеальной границей:

$$R = \frac{N_2}{N_1} ;$$

Взвешенное нормализованное отклонение действительных контурных точек от идеальной границы:

$$R_1 = \frac{1}{I_n} \sum_1^{I_a} \frac{1}{1 + \delta e},$$

где  $I_a$  - количество выделенных контурных точек;

$I_i$  - количество точек на идеальной границе;

$I_n = \max\{I_i, I_a\}$ ;

$\delta$  - масштабная константа ( $\delta = 1/9$ );

$e$  - расстояние между граничной точкой и идеальной границей.

5) Среднеквадратичное отклонение выделенных контурных точек от идеальной границы:

$$R_2 = \frac{1}{I_a} \sum_1^{I_a} e^2 ;$$

Для оценки результатов алгоритмов формируется идеальное контурное изображение, на котором каждая точка в точности соответствует границе объекта:

$$K(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \neq f(x+1, y) \text{ или } f(x, y) \neq f(x-1, y) \text{ или} \\ & f(x, y) \neq f(x, y+1) \text{ или } f(x, y) \neq f(x, y-1), \\ 0 & \end{cases}$$

Обработка идеальных искусственно созданных изображений с помощью разработанных алгоритмов показала, что изменений в форме объектов не происходит. Границы объектов на результирующем изображении полностью совпадают с границами на исходном изображении ( $N_1 = 100\%$ ,  $N_2 = 0$ ).

В связи с тем, что детектор Кониши не дает единственный отклик на границу, требуется постобработка (утонение), он дал неудовлетворительные результаты (разрушение границ). Выделения границ с помощью алгоритма обнаружения отрезков линий тоже приводит к неудовлетворительным результатам, так как утонение не позволяет выполнить точную локализацию границ.

Алгоритм выделения осевых линий и алгоритм непосредственного выделения границ с помощью ИПСП позволяют более точно выделить границы.

Алгоритм получения безразрывных границ объектов соединением точек перепадов и алгоритм выделения объектов как областей с одинаковой по всей площади каждой области яркости позволяют получить результат с наименьшим числом ложных шумовых границ, что обеспечивается за счет удаления мелких контуров. При заданном уровне шума ( $\sigma = 5$ ) на изображении были распознаны яркостные перепады величиной больше, чем 9, что обусловлено фильтрующими свойствами алгоритмов вдоль границ.

Характеристики точности выделения объектов представлены в таблице 2 и таблице 3. В идеальном случае (полное совпадение границ) характеристики принимают значения, показанные в первых строках таблицы 2 и таблицы 3.

Результаты исследования показывают, что разработанные алгоритмы производят более точное выделение границ, чем другие алгоритмы (Рис. 4 – Рис. 6).

Таблица 2

**Исследование точности выделения объектов на зашумленном ( $\sigma = 5$ ) изображении восьмиугольников.**

Метод	$N_1, \%$	$N_2$	$R$	$R_1$	$R_2$
Идеальное изображение	100	0	0	1	0
Детектор Кониши	18	10614	0,066	0,85	5,36
Выделение отрезков линий	22	8357	0,038	0,90	4,93
Выделение осевых линий	32	7442	0,009	0,92	4,80
Непосредственное выделение границ с помощью ПХ	64	2281	0,004	0,91	4,30
Прослеживание границ	59	551	0,002	0,80	10,1
Наращивание областей	60	963	0,002	0,87	9,20

Таблица 3

**Исследование точности выделения объектов на зашумленном ( $\sigma = 5$ ) изображении окружностей**

Метод	N1, %	N2	R	R1	R2
Идеальное изображение	100	0	0	1	0
Детектор Кониши	15	7367	0,053	0,81	9,11
Выделение отрезков линий	26	6651	0,048	0,85	7,34
Выделение осевых линий	42	7624	0,009	0,89	6,80
Непосредственное выделение границ с помощью ПХ	45	2208	0,005	0,86	7,95
Прослеживание границ	30	647	0,003	0,83	10,5
Нарращивание областей	44	1536	0,004	0,84	10,27

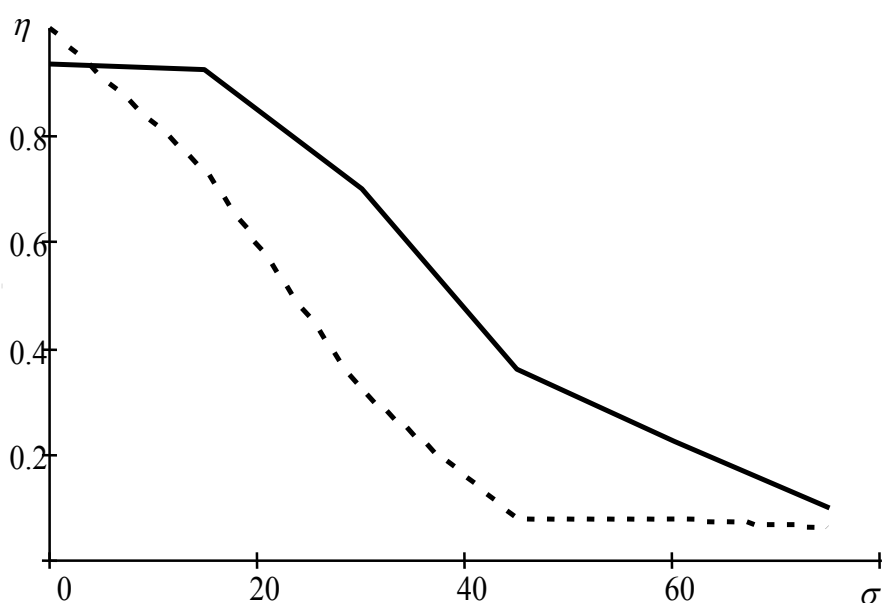


Рис. 4. Зависимости коэффициента корреляции  $\eta$  между контуром тестового изображения и выделенного контура на зашумленном изображении от СКО шума (пунктирной линией показана зависимость для метода Кониши, сплошной — для метода выделения контуров на основе ИСПП)



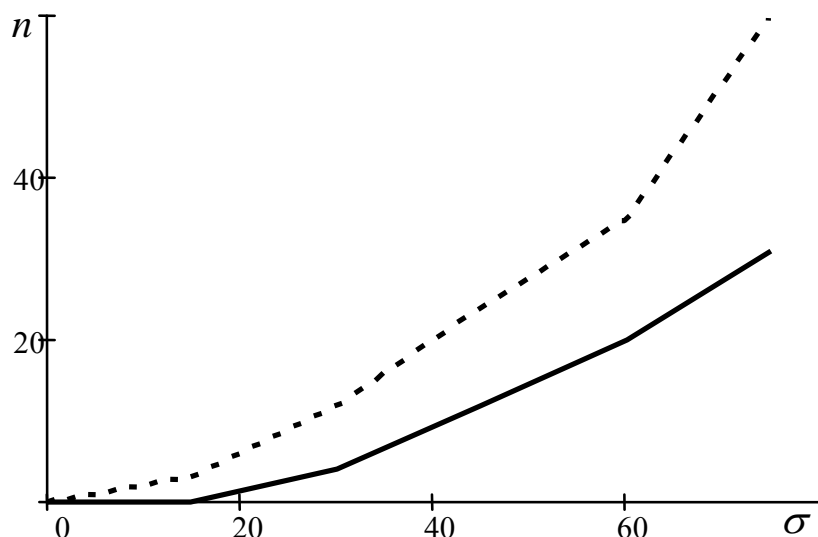


Рис. 5. Зависимости количества образующихся разрывов и бахромы контура  $n$  от СКО шума (пунктирной линией показана зависимость для метода Кониши, сплошной — для метода выделения контуров на основе ИПСП)

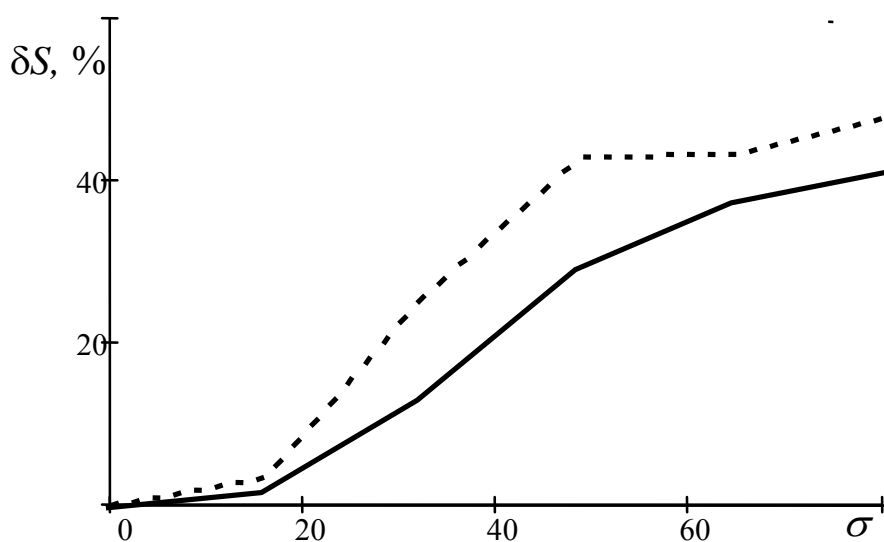


Рис. 6. - Зависимости отклонения площади  $\delta S$  от СКО шума (пунктирной линией показана зависимость для сегментации без предобработки, сплошной — для сегментации с предобработкой на основе ИПСП).

В работе приведены результаты ряда экспериментов разработанных алгоритмов на основе исследования на тестовых и реальных изображениях. Показано, что в сравнении с существующими методами обработки наномасштабных снимков, разработанная алгоритмическая база дает более достоверный и точный результат обработки. Большая точность результата достигается благодаря инте-

грированию вдоль границы объектов, которое уменьшает влияние шума, что позволяет взять порог бинаризации намного ниже, чем в известных методах, использующих локальные градиентные операторы, и выделить менее контрастные контуры.

### Литература

1. Антонов Л.В., Орлов А.А. Комплексный анализ направлений исследований в области обработки наномасштабных изображений // Алгоритмы, методы и системы обработки данных – 2012, №1
2. Орлов А.А., Антонов Л.В. Метод предварительной обработки изображений микро- и наноструктур // Алгоритмы, методы и системы обработки данных – 2011, №3
3. Орлов А.А., Антонов Л.В. Система преобразований изображений по линейчатым структурам на снимках промышленных материалов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных – 2011, №3
4. Стародубов Д.Н., Орлов А.А. Автоматический анализ неметаллических включений в стали // Алгоритмы, методы и системы обработки данных – 2011, №3
5. Садыков С.С., Орлов А.А., Ермаков А.А. Теория, алгоритмы и методика обработки линейчатых образов на дефектоскопических снимках // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. - 2009, №2. С.11-16.
6. Орлов А.А. Реализация системы обработки изображений линейчатых объектов // Программные продукты и системы. - 2007, №4. С.61-62.