

УДК 004.93

П.И. ПИЛОВ, Л.Г. АХМЕТШИНА, А.А. ЕГОРОВ, И.М. УДОВИК

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара,
Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД НА НЕОДНОРОДНОМ ФОНЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Данная работа посвящена описанию алгоритма обработки цветных фотоснимков горных пород с целью выделения объектов интереса, представляющих собой различные по величине фракции минералов, представленных на неоднородном фоне, для обеспечения в дальнейшем возможности автоматизации выполнения гранулометрического анализа их состава. Представлены результаты экспериментальных исследований возможностей предложенного алгоритма, подтверждающие его эффективность при выделении контуров фракций минералов, содержащихся на цветных изображениях с неоднородным фоном.

Ключевые слова: обработка изображений, бинаризация, неоднородный фон, выделение контуров, гранулометрический состав, горная порода.

P.I. PILOV, L.G. AKHMETSHINA, A. A. YEGOROV, I.M. UDOVYK

Dnepropetrovsk National University named by Oles Honchar
State High Educational Organization «National Mining University»

THE TRANSFORMATION OF ROCK PHOTOS WITH HETEROGENEOUS BACKGROUND FOR THE GRANULOMETRIC COMPOSITION CHECK

Annotation

This article is devoted to description and experimental researches of the algorithm of the rock color photos processing. The purpose of this processing is the detection of the objects of interest that represent the different size mineral fractions on the heterogeneous background. It gives the opportunity to automate the process of the granulometric composition analysis in the future.

The complicity of the edge detection of the objects of interest is provided by the heterogeneous of the background and brightness, the geometrical form of the objects and their optical properties and the ability of the «adhesion» of the different objects in the single structure.

The proposed algorithm assumes the usage only red color channel that is most informative for this task. The algorithm includes four stages: background erasing (implemented by the consequent applying of the smoothing, filtering and exponential transformations); intensity changing to improve objects separation (implemented by the exponential transformations); edge detection (implemented by the Sobel operator with the following exponential transformations) and binarization.

The experimental researches show the availability of the proposed algorithm for the objects edge detection on the color images with the heterogeneous background. However, the artifacts that associated with the features of the minerals form and their optical properties are appeared. In addition, the complicity of the separating of the «bounded together» objects is appeared too. For the elimination of these imperfections the improvement of the used methods and the usage of all color channel of the source image are needed.

Keywords: image processing, binarization, heterogeneous background, edge detection granulometric composition, rock.

Постановка проблемы. Определение гранулометрического состава горных пород (расчет процентного весового содержания в породе различных по величине фракций) является одним из основных этапов технологического процесса в горной промышленности [1]. На практике для этих целей чаще всего используется ситовый анализ, который подразумевает просеивание породы через набор различных по величине ячеек [2], требующий существенного применения ручного труда. В связи с этим, актуальной является задача разработки технологий, которые позволяют осуществлять этот процесс в автоматизированном или автоматическом режимах и, в частности, возможность проведения экспресс-контроля.

Одним из подходов решения этой задачи является использование фотографических изображений горных пород, полученных в процессе их добычи или переработки [3], с целью определения требуемых для гранулометрического анализа показателей, актуальность и эффективность которого возрастает с появлением новых цифровых технологий формирования, хранения и обработки визуальной информации.

Анализ публикаций по теме исследования. При использовании изображений для выполнения процедуры гранулометрического анализа одним из важнейших и определяющих точность конечного результата является этап предварительной обработки исходного снимка, причем выбор методов ее выполнения является нетривиальной задачей [4]. Целью этого процесса является преобразование исходного изображения в вид, позволяющий осуществить автоматизированный/автоматический анализ,

и включает такие операции как фильтрация шумов, повышение контраста, выделение объектов интереса (контуров), бинаризацию и т.д., каждая из которых является важной составляющей. Метод выполнения этих операций зависит как от качества исходных данных, так и от поставленной задачи.

Например, неоднородность фона затрудняет применение традиционных способов фильтрации (медианного фильтра или фильтра Винера [5]) и повышения чувствительности выделения контуров на основе гистограммных методов [5-7] или преобразования растяжения контраста [6]. Непосредственное выделение контуров объектов интереса на основе применения пороговых (метод Хуанга и Ванга [8]) или градиентных (оператор Собеля [5, 6]) методов также не позволяет получить необходимый уровень достоверности результата анализа. В то же время следует отметить важность выбора способа бинаризации, которая оказывает непосредственное влияние как на чувствительность, так и на скорость процесса обработки изображения в целом.

Цель статьи. В данной работе предложен алгоритм обработки цветных фотоснимков горных пород с целью выделения объектов интереса, представляющих собой различные по величине фракции минералов, представленных на неоднородном фоне, для обеспечения в дальнейшем возможности автоматизации выполнения гранулометрического анализа их состава.

Основная часть. Исходными данными является цветные фотоснимки минералов, примером которых может служить изображение, цветовые каналы которого приведены на рис. 1 а – в. Особенностью этих снимков является неоднородный фон, выбор которого оказывает существенное влияние на способ обработки изображения. Как показали экспериментальные исследования, наиболее информативным с точки зрения решения поставленной задачи является красный цветовой канал I_r^1 , обработка которого, производится после масштабирования его на отрезок [0,1].

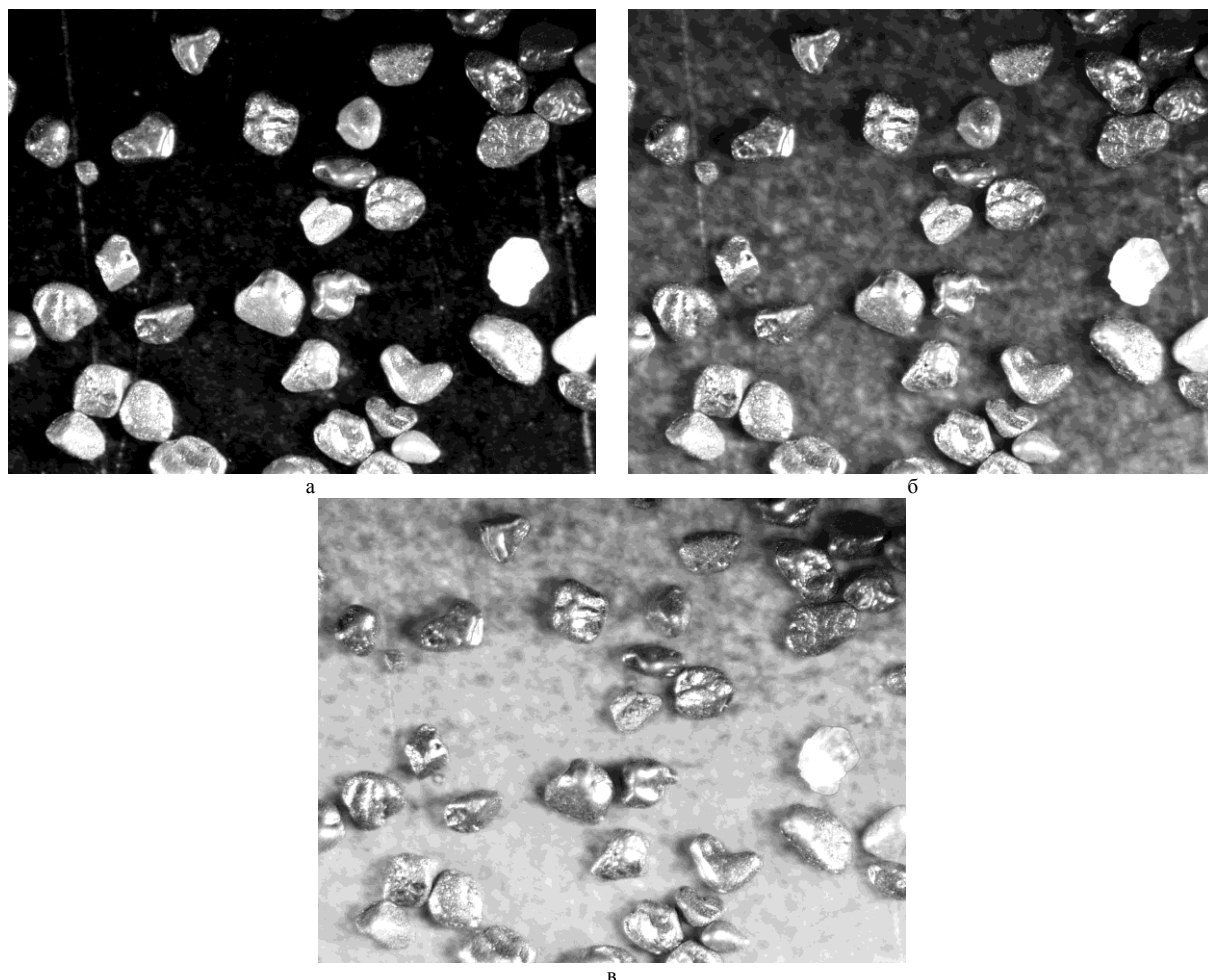


Рис. 1. Цветовые каналы исходного RGB изображения: а – красный, б – зеленый и в – синий

Предложенный алгоритм содержит следующие шаги:

- а) удаление неоднородного фона;
- б) преобразование яркости с целью улучшения разделения объектов;
- в) выделение контуров;

г) бинаризация.

Для нейтрализации (удаления) фона осуществляется преобразование яркости каждого пикселя изображения I_r^1 по следующему алгоритму.

1. Изображение I_r^1 разбивается на перекрывающиеся окна размерностью 3x3 пикселя, и для каждого пикселя $w_{x,y}$ текущего окна выполняется преобразование:

$$w_{x,y} = w_{x,y} + \frac{\bar{w} - w_{x,y}}{2}, \quad (1)$$

где \bar{w} – его средняя яркость, в результате чего формируется изображение I^2 .

2. Получение изображения I^3 на основе степенных преобразований, обеспечивающих нелинейность преобразования яркостей:

$$I_{x,y}^3 = \left(I_{x,y}^2 \right)^{1 - \left(1 - I_{x,y}^2 \right)^2}. \quad (2)$$

Этот шаг является одним из основных при подавлении (приведении к белому цвету) фона.

3. Последовательное двукратное применение ранговой фильтрации (по максимуму для области 3x3 пикселя) [9] с последующим выполнением 1-го шага, в результате чего формируется изображение I^4 .

4. Получение изображения I^5 по следующей формуле:

$$I_{x,y}^5 = \left(I_{x,y}^4 \right)^{1 - I_{x,y}^4}. \quad (3)$$

5. Формирование изображения I^6 следующим образом:

$$I_{x,y}^6 = \left(I_{x,y}^5 \right)^{1 + \left(I_{x,y}^5 \right)^{1 - I_{x,y}^5}}. \quad (4)$$

6. На последнем шаге пиксели, значения яркости которых меньше заданного порога T_1 (на основе экспериментальных исследований рекомендуется $T_1 = 0.97$), приравниваются 1. Затем применяется ранговая фильтрация (по максимуму для области 3 на 3 пикселя).

Преобразование яркости с целью улучшения разделения объектов выполняется с использованием следующих преобразований:

$$\begin{cases} I_{x,y}^7 = \left(I_{x,y}^6 \right)^{1 - \left(I_{x,y}^6 \right)^{1 - I_{x,y}^6}}, & I_{x,y}^6 \leq \frac{\bar{I}^6}{8} \\ I_{x,y}^7 = \left(I_{x,y}^6 \right)^{1 - \left(I_{x,y}^6 \right)^{1 + I_{x,y}^6}}, & \frac{\bar{I}^6}{8} < I_{x,y}^6 \leq \frac{\bar{I}^6}{2} \\ I_{x,y}^7 = \left(I_{x,y}^6 \right)^{1 + \left(I_{x,y}^6 \right)^{1 + I_{x,y}^6}}, & I_{x,y}^6 > \frac{\bar{I}^6}{2} \end{cases}, \quad (5)$$

$$I_{x,y}^8 = \left(I_{x,y}^7 \right)^{1 + \left(I_{x,y}^7 \right)^{1 - I_{x,y}^7}}, \quad (6)$$

где \bar{I}^6 – среднее значение яркости по изображению I^6 .

Для выделения контуров использовался оператор Собеля:

$$I^9 = \sqrt{\left(G_x * I^8 \right)^2 + \left(G_y * I^8 \right)^2}, \quad (7)$$

где $G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ и $G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$. Для всех пикселей, яркость которых превышает

1, она устанавливается равной 1.

После выделения контуров выполняется преобразование:

$$I_{x,y}^{10} = \left(I_{x,y}^9 \right)^{1 - \left(I_{x,y}^9 \right)^{+I_{x,y}^9}}, \quad (8)$$

которое обеспечивает усиление различий между цветом контура и фона.

Окончательный результат – изображение I^{out} – формируется на этапе бинаризации с использованием условия:

$$I_{x,y}^{10} > \frac{\overline{I^6} + \overline{I^{10}}}{2}, \quad (9)$$

причем $\overline{I^{10}}$ – среднее значение яркости для изображения I^{10} .

Экспериментальные результаты. Представленный алгоритм был применен для обработки изображений, содержащих различные минералы горных пород на неоднородном фоне.

На рис. 2 а представлен красный канал, который являлся исходным для представленного алгоритма, а на рис. 2 б – результаты удаления фона (замены его белым цветом) и улучшения разделения объектов. Последний этап обеспечивает также уменьшение неинформативной детализации частей объектов, обусловленной особенностями их формы и структуры. На рис. 3 а отображен эффект от применения оператора Собеля для выделения контуров, а на рис. 3 б – окончательный результат – бинаризация изображения, который позволяет сделать вывод об эффективности предлагаемого подхода для выделения контуров объектов интереса на неравномерном фоне.

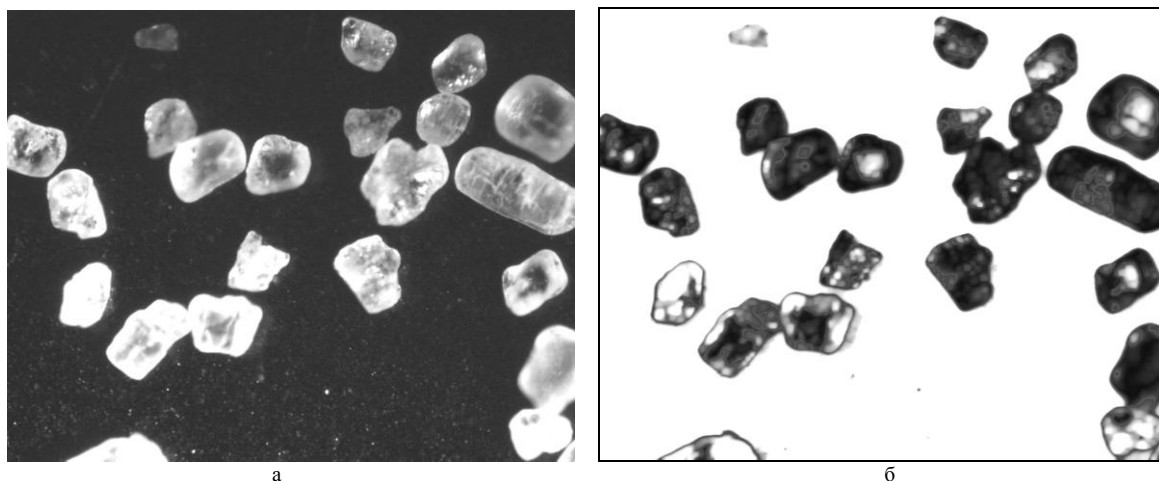


Рис. 2. Результаты обработки исходного изображения: а – красный цветовой канал; б – удаление фона и улучшение разделения объектов

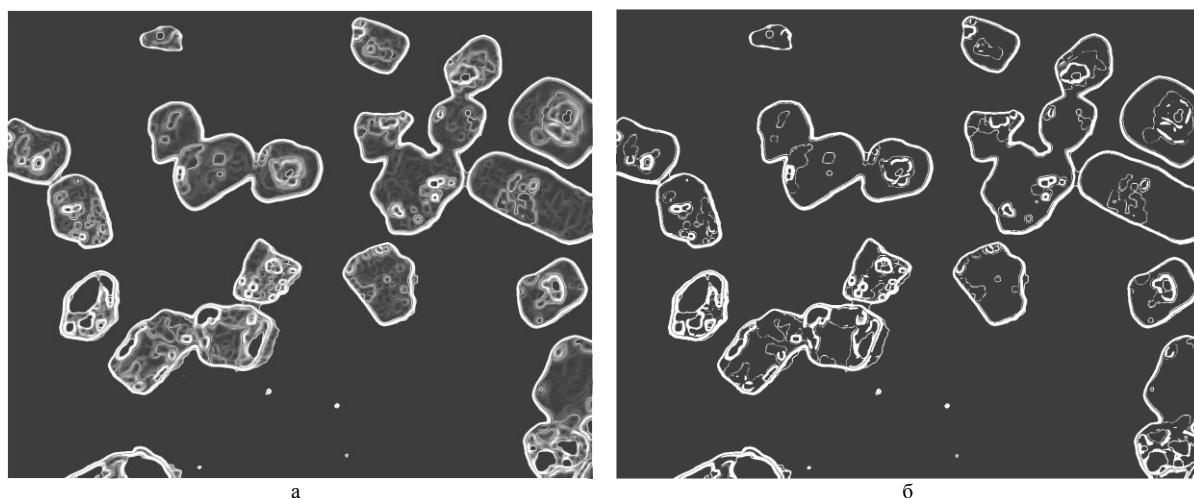


Рис. 3. Результаты обработки изображения: а – выделение контуров; б – бинаризация

Выводы и перспективы дальнейших исследований. На основании полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

- применение предложенного алгоритма позволяет достаточно эффективно выделять объекты интереса – фракции минералов различной величины на неравномерном фоне;
- решение задачи удаления артефактов, связанных с особенностями их формы и оптических свойств, требуют использования дополнительных методов преобразования;
- отдельную проблему представляет разделение «слипшихся» объектов, осуществление которого обеспечивает существенное повышение точности гранулометрического анализа и возможно на основе использования информации всех цветовых каналов.

Литература

1. Пилов П.И. Описание удельной поверхности продуктов измельчения на основе функции распределения дисперсности / П.И. Пилов, Н.С. Прядко // Збагачення корисних копалин. – 2013. – Вип. 53(94). – С. 60-68.
2. Козин В.З. Контроль технологических процессов обогащения / В.З. Козин // Екатеринбург: ВШ, 2005. – 303 с.
3. Корнієнко В.І. Логічні алгоритми обробки бінарних зображень в оптичній гранулометрії дроблених матеріалів / В.І. Корнієнко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2006. – № 11. – С. 89-90.
4. Корниенко В.И. Проблемы разработки математического обеспечения для оптического гранулометра дробленых материалов / В.И. Корниенко, В.В. Глухов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1990. – № 2. – С. 68-71.
5. Pratt W.K. Digital Image Processing / W.K. Pratt – New York; – Chichester; Weinheim; Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.
6. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
7. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне; [пер. с англ. А.М. Измайловой]. – М.: Техносфера, 2007. – 583 с.
8. Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Z. Chi, H. Yan, T. Pham – Singapore; New Jersey; London; Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.
9. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений / Г.Ю. Шлихт // – М.: Эком, 1997. – 336 с.