

## АЛГОРИТМ МАРКЕРНОГО ВОДОРАЗДЕЛА ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ЗЕРЕН МЕТАЛЛОВ

Маврин Г.Н., Сафонов И.В.

Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет)  
115409, Москва, Каширское шоссе, 31, кафедра электронных измерительных систем

В статье рассматривается автоматизированный алгоритм сегментации зерен на цифровых изображениях шлифов металлов. Для сегментации используется метод маркерного водораздела. Автоматический поиск маркеров осуществляется на бинарных изображениях зерен алгоритмом предельной эрозии.

Анализ размеров зерен является важным разделом металлографии и проводится при анализе качества продукции металлургической промышленности. Методов прямого определения объемов зерен не существует, поэтому, обычно, определяют их площади на предварительно обработанных, с целью выявления границ, шлифах металла, сделанных в разных направлениях. Затем по полученным данным вычисляют средний объем зерен.

Существующие в настоящее время способы определения размеров зерен по изображению шлифа либо очень трудоемки (из-за необходимости набирать статистику) и субъективны, либо чрезвычайно требовательны к производительности компьютеров и в ряде случаев выдают некорректные результаты. Поэтому, в настоящее время специалисты-металлографы заинтересованы в разработке новых методов автоматического определения площадей зерен.

Особенно важна автоматизация процесса измерения размеров зерен на шлифах диоксида урана. Так как к ядерному топливу, сделанному на его основе предъявляются очень жесткие требования.

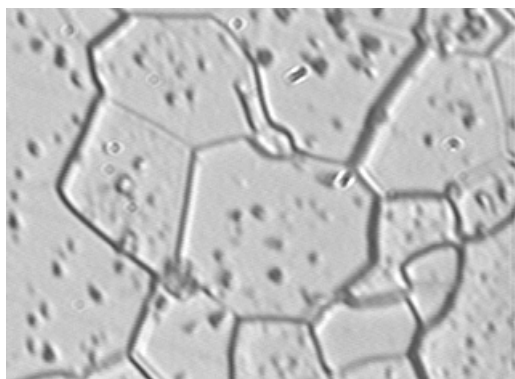


Рис. 1. Изображение шлифа оксида урана.

Изображение зерен диоксида урана выглядит следующим образом (см. рис. 1). На этом изображении зерна - это светлые выпуклые многоугольники. Темные линии – границы зерен, а темные пятна – поры. Часть границ зерен на изображении полностью отсутствует из-за того, что скорости травления соседних зерен оказались очень близкими. Так как на шлифе имеются ступеньки, некоторые границы оказываются не в фокусе и на изображении они размыты. Даже хорошо видимые границы часто имеют разрывы. Также на изображении присутствуют поры различного размера.

В настоящее время для решения задач сегментации различных классов изображений успешно применяется относительно новый метод сегментации – водораздел (watershed) [4]. В геодезии водоразделом называется линия поверхности, разделяющая бассейны двух рек. Идея алгоритма сегментации изображений с помощью водораздела состоит в том, что исходное полутоновое изображение можно представить как топографическую карту местности. Высота точки над уровнем моря будет равна значению ее яркости.

Построить линию водораздела по определению достаточно сложно, поэтому обычно используют метод моделирования погружения. Если начать погружать местность в воду уровень за уровнем, на ней станут постепенно образовываться бассейны. Для того чтобы в процессе погружения два бассейна не слились, между ними строится дамба. Когда вода достигнет максимального уровня, построенные дамбы будут образовывать границы водораздела, т.е. границы объектов.

Принимая во внимание тот факт, что алгоритм считает бассейнами даже самые маленькие и незначимые объекты, например, шум или несущественные колебания яркости по полю изображения, применение алгоритма в его классическом виде приводит к чрезмерной сегментации (oversegmentation). Для подавления эффекта чрезмерной сегментации используют два подхода [5]. Первый – введение порога глубины бассейна. Если в момент начала строительства дамбы глубина одного из бассейнов меньше заданного порога – дамба не строится, а бассейны сливаются в один. Второй подход – маркерный водораздел. В этом случае маркеры задают иницирующие бассейны. В процессе работы этого алгоритма новые бассейны не создаются.

Ручная расстановка маркеров на изображении зерен – существенно менее трудоемкая операция по сравнению с ручной достройкой границ, так как в этом случае оператору требуется для каждого зерна задать

только одну точку – его центр. На рис. 4 показан результат построения границ методом водораздела с использованием маркеров с рис. 3 для исходного изображения с рис. 2.

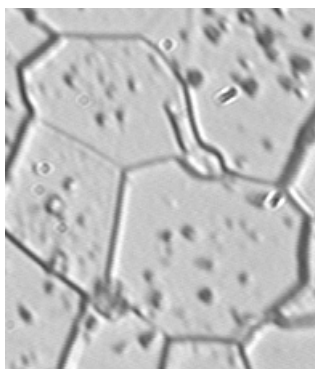


Рис. 2. Исходное изображение шлифа

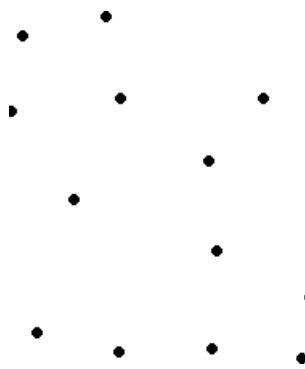


Рис. 3. Маркеры



Рис. 4. Результат сегментации

Для автоматической расстановки маркеров можно воспользоваться тем, что зерна представляют собой выпуклые фигуры и большая часть границ присутствует на изображении. Свойством находить центры выпуклых объектов на бинарном изображении обладает морфологическая операция предельной эрозии (ultimate erosion), которая использует круглый структурный элемент [6].

Основной идеей алгоритма предельной эрозии является итерационная эрозия объектов с отслеживанием момента, когда объект в результате эрозии исчезнет полностью. Маркерами являются те объекты, которые исчезнут в ходе последующей итерации.

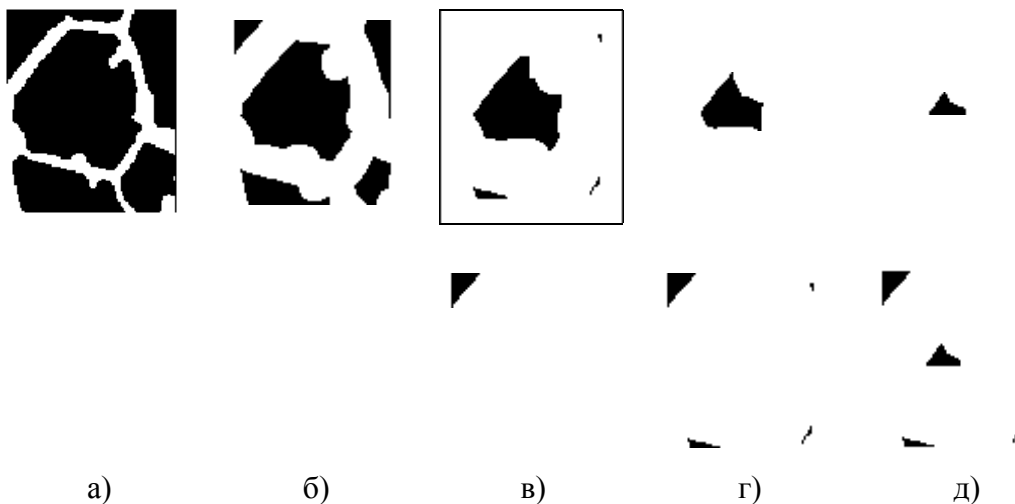


Рис. 5. Получение маркеров с помощью предельной эрозии

Рассмотрим процесс получения маркеров. В верхнем ряду рис. 5 показаны итерации эрозии, в нижнем – маркеры, накапливаемые в процессе итераций. Исходным является участок изображения границ зерен (рис. 5а). Объектами, подвергающимися эрозии, являются внутренности зерен (обозначены черным цветом). В результате первой эрозии (рис. 5б) все объекты стали меньше, но ни один из них полностью не исчез, поэтому новых маркеров не образуется. После второй итерации эрозии (рис. 5в), которая применяется к результату первой, исчез один объект, который становится маркером и т. д. Применение эрозии происходит до тех пор, пока не исчезнут все объекты на изображении.

Получить бинарное изображение границ зерен можно с помощью детектора границ Канни (Canny) [6]. Необходимо отметить, что присутствующие на изображении мелкие поры приводят к появлению лишних границ, что при использовании предельной эрозии, в свою очередь, приводит к появлению лишних маркеров. По этой причине необходимо предварительно удалить с изображения шлифа мелкие поры. Сделать это можно, исключив из рассмотрения небольшие темные объекты, которые обнаруживаются методом порогового отсеечения.

Таким образом, предлагается метод автоматизированного выделения зерен на изображениях шлифов металлов, состоящий из следующих операций:

- удаление с исходного изображения пор;
- детектирование границ методом Канни;
- нахождение маркеров с помощью алгоритма предельной эрозии;
- коррекция маркеров оператором;
- применение маркерного водораздела к исходному изображению.

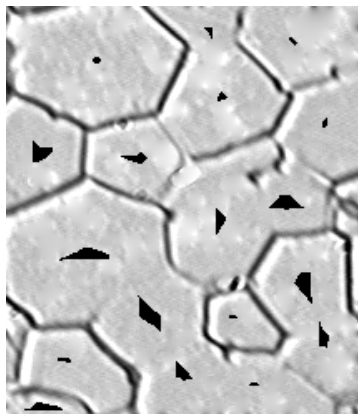


Рис. 6. Исходное изображение с найденными маркерами

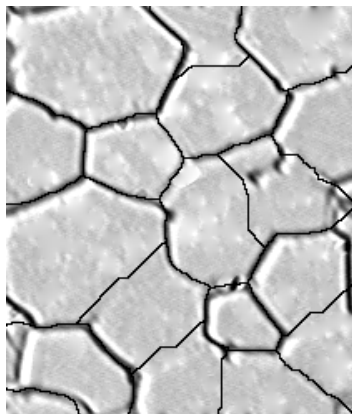


Рис. 7. Результат маркерного водораздела

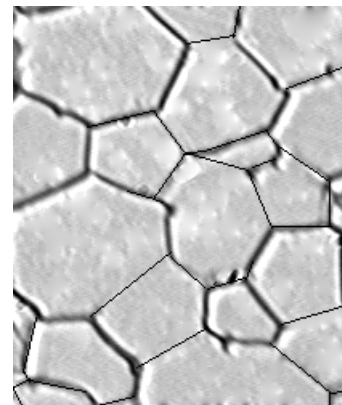


Рис. 8. Результат ручной достройки границ

Предложенный метод может быть успешно применен для сегментации зерен на изображениях шлифов различных металлов, в том числе и оксида урана. Следует отметить, что при обработке достаточно контрастных изображений шлифов с небольшим количеством пор и отсутствующих границ данный метод даже без ручной коррекции маркеров дает результат, близкий к результату достройки границ зерен экспертом (см рис. 6-8).

#### Список литературы

- I. Салтыков С.А., “Стереометрическая металлография”, М. Металлургия, 1970.
- II. Методы выявления и определения величины зерна. ГОСТ 5639-82.
- III. Павлидис Т. “Алгоритмы машинной графики и обработки изображений”, Москва, “Радио и связь”, 1986.
- IV. “Watersheds in Digital spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations”, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, June 1991.
- V. “Geodesic Saliency of Watershed Contours and Hierarchical Segmentation”, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, December 1996.
- VI. James R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, 1996, John Wiley & Sons.



## MARKER-CONTROLLED WATERSHED ALGORITHM FOR SEGMENTATION OF METAL'S GRAINS

Mavrin G.N., Safonov I.V.

The paper describes automated algorithm of grains segmentation on the digital images of metals. The method of marker-controlled watershed is used for segmentation. Automatic location of markers on the black and white images is performed by ultimate erosion method.

The analysis of grains sizes is the important part of metallography and carried out at the production quality analysis in iron and steel industry. The automation of this process on metallographic section of uranium dioxide is especially important because of the hard demands to nuclear fuel.

The image of grains of uranium dioxide looks like at figure 1. The grains are the light convex polygons on this image. Dark lines are boundaries of grains, and dark stains are pores. Some grains boundaries on the image are completely absent because the etching speeds of adjacent grains have appeared very closely. Due to the step plates on metallographic section, some boundaries appear not in focal point and on the image they are fuzzy. Even the well visible boundaries frequently have breaks. The image also contains a number of pores. Size of pores may differ from one to another.

New method of segmentation - watershed is successfully applied to solving problem of segmentation of various classes of the images [4]. Since the algorithm considers as basins even the smallest and not significant objects, for example, noise or unessential oscillations of brightness on the image, the application of classical algorithm results in oversegmentation. To suppress oversegmentation effect one uses two methods [5]. The first method is an introduction of a threshold of basin's depth. The second method is a marker-controlled watershed.

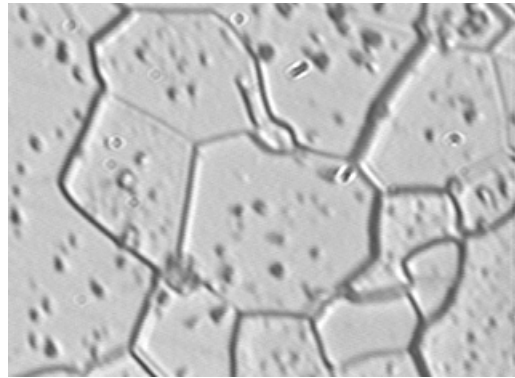


Fig. 1. Image of metallographic section of uranium dioxide.

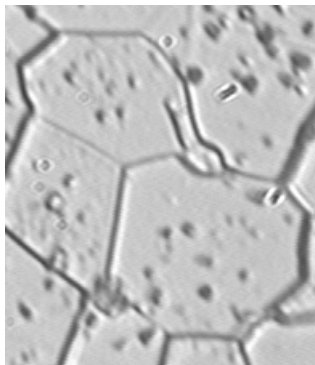


Fig. 2. The initial image of metallographic section

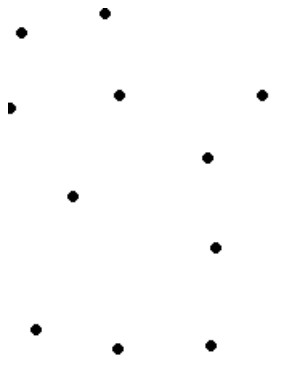


Fig. 3. Markers



Fig. 4. Segmentation result

The hand-held drawing of markers on the image of grains is much less laborious operation in comparison with hand-held drawing of boundaries. In the figure 4 the result of construction of boundaries by a watershed method with usage of markers from the figure 3 for the initial image from the figure 2 is shown.

For automatic arrangement of markers it is possible to take advantage of fact that the grains represent convex figures and the most part of boundaries is present on the image. The morphological operation of ultimate erosion [6] that uses a round structural unit has property to find centers of convex objects on the binary image.

It is possible to obtain the binary image of grains boundaries with the help of the Canny [6] detector. It's worth noted, that the little pores presented on the image may cause the appearance of superfluous boundaries. This may cause the appearance of superfluous markers, during the usage of ultimate erosion. For this reason it is necessary to delete little pores from the image of metallographic section before such process. It is possible to make it by eliminating small dark objects, which are found out by threshold detection.

Thus, the method of the automated separation of grains on the images of metallographic sections is offered. The method consists of the following steps:

- 1) Deleting pores from the initial image;
- 2) Detecting of boundaries by a Canny method;
- 3) Finding of markers with the help of ultimate erosion algorithm;
- 4) Correction of markers by the operator;
- 1) Applying marker-controlled watershed to the initial image.

The offered method can be successfully applied for grains segmentation on the images of metallographic sections of various metals, including of uranium dioxide. It's worth noted, that during the processing of enough contrast images of metallographic sections with small amount of pores and absent boundaries the given method even without hand-held correction of markers can achieve results comparable with the result of drawing grains boundaries by the expert (see the figures 5-7).

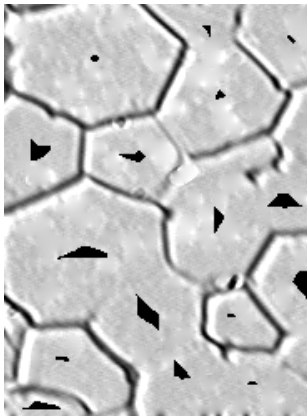


Fig. 5. Initial image with obtained markers

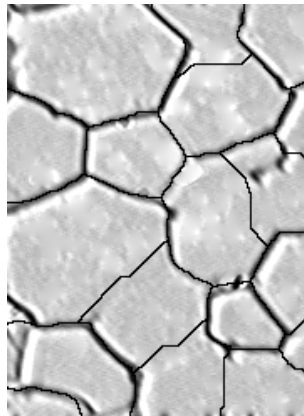


Fig. 6. Marker-controlled watershed result

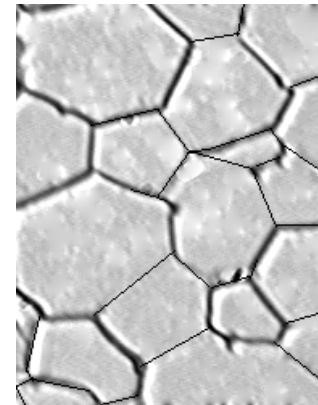


Fig. 7. Result hand-held drawing of boundaries

#### References

- I. Saltikov S.A., "Stereometric metallography", Moscow, metallurgy, 1970.
- II. "The methods of grains size definition and measuring". The Government standart 5639-82.
- III. Pavlidis T. "Algoritms for graphics and image processing", "Computer Science Press, Inc", 1982.
- IV. "Watersheds in Digital spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, June 1991.
- V. "Geodesic Saliency of Watershed Contours and Hierarchical Segmentation", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, December 1996.
- VI. James R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, 1996, John Wiley & Sons.