

## АДАПТИВНАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Коневский О. Л., Тихонов Н. И.

Новгородский государственный университет

Для достижения эффекта сглаживания бинарных растровых изображений и удаления отдельных дефектов используется комбинация базовых операторов математической морфологии - эрозии и расширения, являющихся нелинейными методами цифровой обработки сигналов [1]. Операция эрозии определяется как:

$$\varepsilon_B(S) = S - B = \{B_h \subseteq S | h \in E\} \quad (1)$$

где  $S$  - подмножество элементов изображения относящихся к интересующему объекту;

$B$  - структурирующий элемент;

$h$  - вектор, определяющий каждую позицию  $B$  на дискретной плоскости  $E$ ;

$B_h$  - перенос  $B$  вдоль вектора  $h$ :

$$B_h = \{b + h | b \in B\} \quad (2)$$

Во время процедуры эрозии элементы не удаляются с изображения, а лишь помечаются для удаления после окончания всей процедуры.

Расширение определяется следующим образом:

$$\delta_B(S) = S \oplus B = \{s + b | s \in S; b \in B\} \quad (3)$$

Последовательное применение эрозии и расширения ведет к сглаживанию бинарных изображений.

Результат обработки существенно зависит от двух факторов: конфигурации структурирующего элемента и его размера [2]. Как известно, выбор конфигурации является скорее эмпирическим и интуитивным процессом. Протестировав различные комбинации структурирующих элементов, мы пришли к выводу, что в наибольшей степени поставленной задаче соответствует следующая: структурирующий элемент для эрозии представляет собой совокупность дальних соседей опорного пиксела, а для расширения - полное множество соседей опорного пиксела.

Размер структурирующего элемента зависит от размера дефектов, которые предполагается удалять, и ограничивается толщиной линий объекта [3]. Мы предложили новый алгоритм автоматической настройки размера структурирующего элемента в зависимости от характеристик изображения, состоящий из следующих основных этапов:

- 1) тестовая обработка;
- 2) поиск разрывов;
- 3) контроль эффективности;
- 4) коррекция структурирующего элемента.

Тестовая обработка представляет собой процедуру эрозии с текущим значением размера структурирующего элемента  $B_{cur}$ . Перед первой итерацией  $B_{cur}$  инициализируется величиной 3 пиксела.

Процедура поиска разрывов линий имеет ключевое значение для всего метода, поскольку сохранение топологии исходного изображения - одно из принципиальных условий для успешного преобразования. Вначале формируются два новых подмножества (рис. 1):

1)  $S'$ , содержащее элементы подмножества  $S$ , помеченные к удалению за последнюю итерацию тестовой эрозии;

2)  $S''$ , содержащее те же элементы, что и  $S'$ , исключая пиксели, которые были бы восстановлены, если бы процедура расширения со структурирующим элементом размера  $B_{cur}$  имела место.

Далее для каждого элемента  $i$  подмножества  $S'$  вычисляются параметры  $l_i^h$  и  $l_i^v$  представляющие собой ширину соответственно горизонтального и вертикального сечений подмножества  $S'$ , проходящих через точку  $i$ . Минимальное из найденных значений присваивается параметру  $w_i$ . При этом для точек, которые не входят в подмножество  $S''$   $w_i = 0$ . За тем вычисляется глобальный параметр  $W$ , как максимум из найденных значений  $w_i$ . Достаточным условием наличия разрывов на изображении является превышение параметром  $W$  критической величины, равной текущему размеру структурирующего элемента  $B_{cur}$ .

В случае, если указанная проверка не показала наличия разрывов линий объекта, необходимо провести дополнительную проверку с целью исключить случаи, когда, например линия шириной 2 пиксела разрушается структурирующим элементом размером в 3 пиксела. Дополнительная проверка состоит в следующем. Для каждого элемента подмножества  $S''$  рассчитываются параметры  $l_i^h$  и  $l_i^v$ , как это было описано выше для подмножества  $S'$ . Однако в отличие от предыдущего случая,  $w_i$  определяется как максимальное из  $l_i^h$  и  $l_i^v$ . За тем аналогично указанному для  $S'$  находится глобальный параметр  $W$ , который за тем вновь сравнивается с

текущим размером структурирующего элемента  $B_{cur}$ . Если  $W$  не превышает данного критического значения, то в результате обработки с данным структурирующим элементом топология изображения не будет нарушена.

Параллельно с поиском разрывов производится определение параметра эффективности обработки и сравнение его с пороговым значением. Для того, чтобы ввести параметр эффективности, необходимо учесть следующие обстоятельства. С одной стороны, полная обработка состоит из двух этапов - эрозии и расширения. С другой стороны, в общем случае количество дефектов удаляемых с помощью каждой из процедур приблизительно одинаково, что дает нам право оценить эффективность проведя только первую часть процесса - эрозию.

Поскольку тестовая обработка включает в себя только процедуру эрозии, то такой подход является наиболее предпочтительным. В этом случае параметр эффективности обработки представляет собой относительное увеличение количества удаленных дефектов на текущей итерации по сравнению с предыдущей и может быть рассчитан с помощью следующего выражения:

$$P_B = \frac{E_B - C_B}{E_{B-2} - C_{B-2}} - 1 \quad (4)$$

где  $E_B$  - количество пикселей, удаленных за время тестовой эрозии со структурирующим элементом  $B$ ;  $C_B$  - количество контурных пикселей до процедуры тестовой эрозии со структурирующим элементом  $B$ .

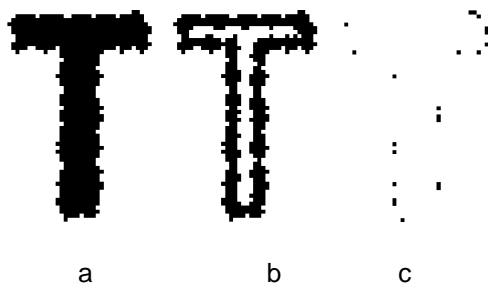


Рис. 1. Исходное изображение (a);  
сформированные подмножества  $S'(b)$  и  $S''(c)$   
Fig. 1. The original image (a);  
formed subsets  $S'(b)$  and  $S''(c)$

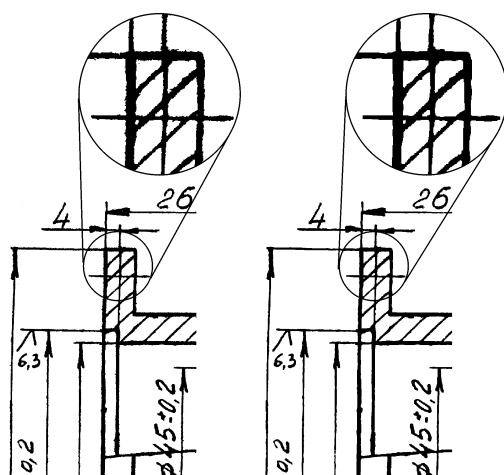


Рис. 2. Результат обработки копии чертежа.  
Fig. 2. The result of the processing of a  
blueprint.

К контурным относятся элементы подмножества  $S'$ , имеющие по крайней мере одного ближайшего соседа, не принадлежащего подмножеству  $S'$ .

Расчет параметра эффективности производится только начиная со второй итерации тестовой эрозии, т. е. со структурирующего элемента размером 5 пикселей. Если рассчитанное по формуле (4) значение меньше заданного порогового, то эффективность обработки считается неудовлетворительной и следует переход к коррекции структурирующего элемента.

Экспериментально авторами было определено оптимальное пороговое значение равное 25%, т. е. каждое увеличение структурирующего элемента должно позволять удалять с изображения по меньшей мере на 25% больше дефектов.

Перед каждой следующей итерацией тестовой эрозии и анализа текущий размер структурирующего элемента  $B_{cur}$  увеличивается на 2.

Последовательно увеличивая размер структурирующего элемента, мы неизбежно приходим к одному из двух результатов: либо на изображении появятся разрывы либо эффективность обработки будет признана неудовлетворительной. Таким образом последнее значение  $B_{cur}$  должно быть скорректировано. В качестве размера структурирующего элемента, с которым производится окончательная обработка принимается значение  $B=B_{cur}-2$ .

В результате применения адаптивного метода сглаживания в качестве предварительной обработки снижается функциональная нагрузка на процедуры высокоуровневой обработки (векторизацию, распознавание образов и символов и т. п.), что сопровождается повышением их быстродействия и адекватности модели. Метод целесообразно применять для предварительной обработки сканированных чертежей при переводе их в векторный формат (рис 2). Кроме того предложенный метод может быть использован для улучшения качества сканированных изображений (рис. 3), например, в типографиях и издательствах.

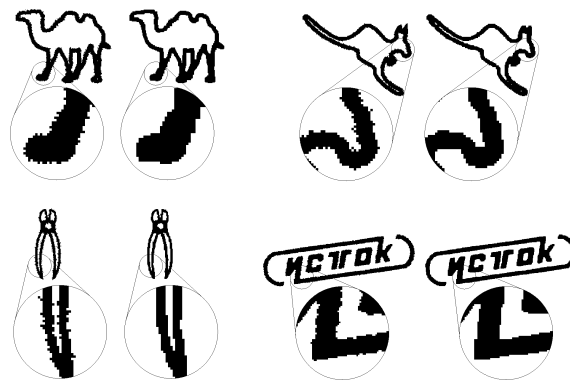


Рис. 3. Результат сглаживания сканированных изображений. Слева - исходное изображение, справа - обработанное.

Fig. 3. The result of the smoothing of the scanned images. Left - original image, right - processed one.

ADAPTIVE MORPHOLOGICAL PROCESSING OF BINARY IMAGES

Konevsky O., Tikhonov N.

Novgorod, Novgorod State University

In order to achieve the smoothing effect and remove defects from binary raster images a combination of basic operators of mathematical morphology – erosion and dilation, that belong to nonlinear methods of image processing - is used [1]. Erosion is defined by the equation (1), where  $S$  is a subset of the image's elements belonging to the object-of-interest;  $B$  - a structuring element;  $h$  - a vector defining every position of  $B$ ;  $E$  – two-dimensional discrete plane;  $B_h$  – a translation of  $B$  along the vector  $h$ , (see eq.2). Dilation is defined by the equation (3).

It is necessary to note, that during the erosion procedure, pixels are not removed from the image, but only marked for the following removing.

If erosion and dilation are applied consistently, defects are removed from the image, that leads to the smoothing of binary images.

The result of the processing depends on two factors: 1) configuration of the structuring element 2) its size [2]. As it is known, the choice of the configuration is an empirical and intuitive process. Having tested different combinations of the structuring elements, we have come to the following: the erosion uses the structuring element presenting itself a collection of 4 distant neighbors of the origin pixel; the dilation uses the structuring element presenting itself full set of neighbors of the origin pixel.

The size of the structuring elements depends on the size of defects, which are to be removed and is limited by the width of the object's lines [3]. We have suggested a new algorithm allowing to adjust the processing parameters automatically, which consists of the following basic stages: 1) test processing; 2) search for the breaks; 3) monitoring of the effectiveness; 4) correction of the structuring element.

The test processing presents itself an erosion procedure with the current size of the structuring element  $B_{cur}$ . Before the first iteration of the processing  $B_{cur}$  is initialized by the value of 3 pixels.

The procedure of the search for the breaks has a key importance for the whole method, because the preservation of the image's topology is one of the principal conditions of the successful processing.

First, two new subsets are formed (see Fig. 1): 1)  $S'$ , containing the elements of the subset  $S$ , which were marked during the last test erosion; 2)  $S''$ , containing the same elements excepting pixels, which would be restored if the dilation procedure with the structuring element of the size  $B_{cur}$  took place.

Then, for each element  $i$  of the subset  $S'$  the parameters  $I_i^h$  and  $I_i^v$  are counted up. They present themselves the width of the horizontal and vertical cross sections of the subset  $S'$  passing through the pixel  $i$  respectively. Minimum of the calculated values  $I_i^h$  and  $I_i^v$  is accepted as a width of the deleted area at this point  $w_i$ . If the point does not belong to the subset  $S''$ ,  $w_i=0$ . Then the global parameter  $W$  is calculated as a maximum of the parameters  $w_i$ . The sufficient condition of the presence at least one break on the image is that the parameter  $W$  is equal or more than the current size of the structuring element  $B_{cur}$ .

If the verification described above did not show presence of the breaks, an additional verification is necessary in order to exclude the cases, when, for instance, the line of the width 2 pixels is corrupted by the structuring element of the size 3 pixels. An additional verification is as follows. For each element of the subset  $S''$  the parameters  $I_i^h$  and  $I_i^v$  are counted up, just like it has been done before for the subset  $S'$ . Unlike the previous case,  $w_i$  is defined as a maximum of  $I_i^h$  and  $I_i^v$ . And finally a newly calculated global parameter  $W$  is compared to the critical value. And if  $W$  is less, than the current size of the structuring element, we can conclude, that the image will not be corrupted during the processing with the structuring element  $B_{cur}$ .

Simultaneously with the search for the breaks, determination of the parameter of effectiveness is done. In order to introduce the effectiveness parameter, it is necessary to take into account the following circumstances. On the one hand, the full processing consists of two stages – erosion and dilation. On the other hand, in the general case, the number of the defects removed by means of erosion is approximately equal to the number of the defects removed by means of dilation. Thus, we can estimate the effectiveness after the first stage of the processing – erosion. As the test processing includes only erosion, such an approach is preferable. In this case the parameter of effectiveness presents itself a relative increase of the number of the removed defects thanks to the use of the structuring element of a larger size. The parameter may be calculated by means of the equation (4), where  $E_B$  – the number of the pixels removed during the test erosion with the structuring element of the size  $B$ ;  $C_B$  – the number of the contour pixels before the procedure of test erosion with the structuring element of the size  $B$ . Contour pixels are the pixels having at least one 4-neighbor belonging to the background.

Determination of the effectiveness parameter is done starting from the second iteration of the test erosion, that is when the structuring element has the size 5 pixels. If the value calculated by means of the equation (5) is less, than the threshold, the effectiveness of the processing is considered to be unsatisfactory.

We have ascertained experimentally, that an optimal value of the threshold is approximately 25%. Saying differently, each increase of the structuring element must allow removing at least 25% more defects.

Before every next iteration of the test erosion and analysis, the current size of the structuring element  $B_{cur}$  is increased by 2.

Gradually increasing the size of the structuring element we have come to one of the following results: 1) the image's topology is corrupted; 2) effectiveness of the processing is declared unsatisfactory. Thus, the last value  $B_{cur}$  must be corrected. Having reduced this value by 2 we obtain an optimal size of the structuring element  $B$  which is taken for the final processing of the given image by means of the method of smoothing described above.

As a result of the use of the adaptive method of smoothing as a preprocessing, the functional load on the procedures of high-level processing is decreased, that is accompanied by the increase of their productivity and adequacy of the model to the object. The method can be applied for the preprocessing of the scanned drawings, drafts, and blueprints before vectorization (Fig. 2). Besides, the described method may be used for the improvement of the quality of the scanned images (Fig. 3), for example in printing and publishing houses.

#### REFERENCES

1. Serra J., Image Analysis and Mathematical Morphology. Vol. 2. Academic Press. 1988. 360 p.
2. Smith S. W., The Scientists and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Publishing. 1999.
3. Heijmans H. J. A. M., Mathematical morphology: a Geometric Approach to Image Processing // Nieuw Archief voor Wiskunde. Vierde Serie. Deel 10. No 3, 1992. Pp. 237-276.