

ФИЛЬТРАЦИЯ ЧЕРНО-БЕЛЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯГКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОРФОЛОГИИ

А. В. Инютин

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

E-mail: avin@lsi.bas-net.by

Рассмотрены операторы мягкой морфологии и алгоритмы удаления шума с бинарных изображений на их основе. Алгоритмы отличаются наличием таких дополнительных параметров работы, как порог фильтрации и количество итераций, возможностью удаления шума вида островки, проколы, выступы и вырывы за один проход. Применение данных алгоритмов позволяет привести меньше искажений при работе, даже если объекты изображения располагаются на расстоянии 1 пикселя друг от друга.

Ключевые слова: математическая морфология, фильтрация

Введение

Информатизация и компьютеризация современного общества требуют непрерывной разработки и совершенствования микроэлектронной цифровой техники.

Базовые операторы классической математической морфологии – эрозия и дилатация выражаются как

$$\text{Dilate}(A,B) = \cup \{A + b : b \in B\}, \quad (1)$$

$$\text{Erode}(A,B) = \cap \{A - b : b \in B\}, \quad (2)$$

где A – исходное изображение, B – структурирующий элемент.

Для удаления шума с изображения могут применяться фильтры, основанные на операциях отмыкания и замыкания, представляющие собой последовательность эрозии и дилатации

$$\text{Open}(A,B) = \text{Dilate}(\text{Erode}(A,B),B) . \quad (3)$$

$$\text{Close}(A,B) = \text{Erode}(\text{Dilate}(A, -B), -B) . \quad (4)$$

Алгоритмы фильтрации изображения на базе операторов мягкой морфологии

Предложены операторы мягкой морфологии, которые сочетают в себе элементы мягкой [11, 12, 18, 20] и нечеткой [21] морфологии:

1) как и в мягкой математической морфологии, предлагаемый структурирующий элемент состоит из мягкой границы, но отличается тем, что ядро структурирующего элемента равно пустому подмножеству;

2) как и в нечеткой морфологии, принцип работы основан на возможности вписать структурирующий элемент в изображение, но сам элемент не рассматривается как нечеткое множество.

Термин «мягкий» используется для того, чтобы показать, что для одного и того же структурирующего элемента можно получить различные результаты, изменяя значение порога фильтрации.

Операторы мягкой морфологии имеют следующий вид:

$$SoftErode(A, B, t) = \left\{ \begin{array}{l} n_s + t \leq n_n \rightarrow a = 0 \\ n_s + t > n_n \rightarrow a = 1 \end{array} \right., a \in A \quad (5)$$

$$SoftDilate(A, B, t) = \left\{ \begin{array}{l} n_s + t \leq n_n \rightarrow a = 1 \\ n_s + t > n_n \rightarrow a = 0 \end{array} \right., a \in A \quad (6)$$

где $n_s = \sum_i \overline{(a_i \wedge b_i)}$ – число ненулевых пикселей на изображении в маске структурирующего элемента, совпавших по значению с ненулевыми пикселями структурирующего элемента, $n_n = \sum_i (a_i \wedge b_i)$ – число пикселей на изображении в маске структурирующего элемента, значение которых не совпало со значением соответствующих пикселей структурирующего элемента, t – порог фильтрации, a – пиксели исходного черно-белого изображения A , b – пиксели плоского структурирующего элемента B . Термин – плоский структурирующий элемент обозначает, что его пиксели могут принимать значения 0 и 1.

Исходными данными являются бинарное изображение. Параметры работы – размер и форма структурирующего элемента, значение порога фильтрации или значение порогов для операций эрозии и дилатации, если для этих операций используются разные пороги. Результат – бинарное изображение.

Для удаления шума с изображения предлагается использовать операции мягкого отмыкания и замыкания, которые имеют вид:

$$SoftOpen(A, B, t) = SoftDilate(SoftErode(A, B, t), B, t), \quad (7)$$

$$SoftClose(A, B, t) = SoftErode(SoftDilate(A, B, t), B, t). \quad (8)$$

Исходными данными является бинарное изображение. Параметры фильтрации – размер и форма структурирующего элемента, количество проходов фильтра, значение порога фильтрации или значение порогов для операций эрозии и дилатации, если для этих операций используются разные пороги. Результат – бинарное изображение.

Мягкое отмыкание и замыкание не обладают свойством идемпотентности, поэтому могут многократно применяться с одним структурирующим элементом, и это свойство предлагается использовать для конструирования мягких морфологических фильтров. Алгоритм фильтрации изображения на основе операций мягкого отмыкания и замыкания приведен на рис. 1.

Параметры фильтрации – это структурирующий элемент B (его размер и форма), порог фильтрации t и количество итераций фильтра i .

Также можно использовать последовательные мягкие морфологические фильтры, которые обозначаются SOC , SCO , $SOCO$, $SCOC$ и т. д., где сокращениями SO и SC обозначаются операции мягкого отмыкания и замыкания. Данные фильтры сглаживают неровности краев элементов аналогично фильтрам классической математической морфологии. А с предложенными операторами мягкой морфологии можно использовать фильтры $i_{so}SO$, $i_{sc}SC$, $i_{so}SOi_{sc}SC$, $i_{sc}SCi_{so}SO$ и т. д., где i_{so} – количество итераций мягкого отмыкания, а i_{sc} – количество итераций мягкого замыкания. Количество проходов фильтра задается в зависимости от качества входного изображения.

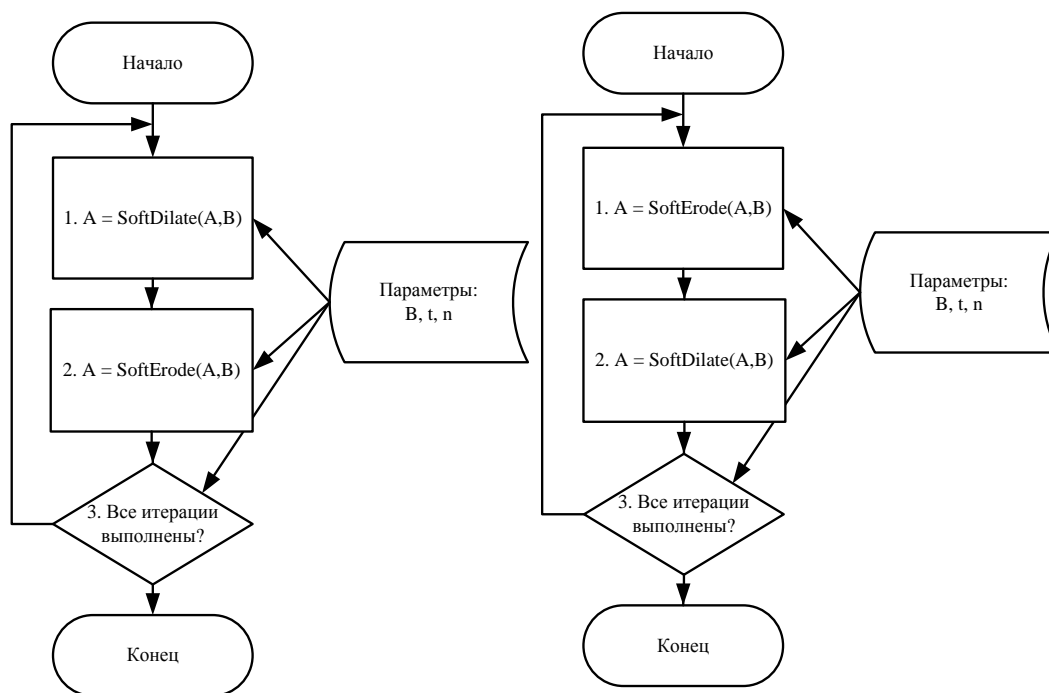


Рис. 1. Алгоритмы фильтрации операциями мягкой морфологии:
 a – отмыкание, b – замыкание

Экспериментальные результаты применения мягкого морфологического фильтра

На примере изображений фотошаблона печатной платы рассмотрим преимущества и особенности применения мягкого морфологического фильтра. Размер изображения 1596×1007 пикселей, 1 пиксель изображения соответствует 42,3 мкм. Оценка качества фильтрации с использованием операции мягкого отмыкания по квадратному структурирующему элементу размером 3×3 пикселя с порогом 0, а также классических операций отмыкания и замыкания по тому же структурирующему элементу приведена в табл. 1. Оценка качества фильтрации вычислялась как

$$Q = 1 - \text{count}(\text{Test XOR Etalon}) / \text{size}(\text{Test}), \quad (9)$$

Таблица 1

Качество фильтрации при использовании структурирующего элемента
 размером 3×3 пикселя

Значение порога фильтрации t	Качество фильтрации			
	SoftOpen(A, B, t)		SoftClose(A, B, t)	
	В – квадрат	В – ромб	В – квадрат	В – ромб
0	0.99286	0.98481	0.99286	0.98876
2	0.99172	0.9901	0.99116	0.99135
4	0.99254	0.98795	0.99045	0.98795
6	0.99167	0.99135	0.98832	0.9901
8	0.99061	0.98876	0.98532	0.98481
Классическая морфология	Open(A, B) 0.99061	Open(A, B) 0.98876	Close(A, B) 0.98532	Close(A, B) 0.98481

где $Test$ – результат фильтрации, $Etalon$ – изображение эталонного фотошаблона без шума, $count()$ – операция вычисления количества ненулевых пикселей.

Классическая операция отмыкания удаляет островки с изображения; сглаживает выступы; увеличивает вырывы; образует разрывы. А классическая операция замыкания удаляет проколы с изображения; сглаживает вырывы; увеличивает выступы; образует короткие замыкания.

Для высокого качества фильтрации необходимо удалить как островки, так и проколы, сгладить как выступы, так и вырывы. Поэтому можно применить последовательный фильтр $CloseOpen(A, B)$ или $OpenClose(A, B)$. Оценка качества фильтрации приведена в табл. 2.

Таблица 2

Качество работы последовательного фильтра с использованием структурирующего элемента размером 3×3 пикселя

Значение порога фильтрации t	Качество фильтрации			
	$SoftOpenClose(A, B, t)$		$SoftCloseOpen(A, B, t)$	
	В – квадрат	В – ромб	В – квадрат	В – ромб
0	0,99462	0,99086	0,99462	0,99067
2	0,99101	0,99352	0,99127	0,99338
4	0,99164	0,98804	0,99191	0,98804
6	0,99356	0,99338	0,99363	0,99352
8	0,99382	0,99067	0,99397	0,99086
Классическая морфология	$OpenClose(A, B)$ 0,99382	$OpenClose(A, B)$ 0,99067	$CloseOpen(A, B)$ 0,99397	$CloseOpen(A, B)$ 0,99086

Классический последовательный фильтр лучше удаляет шум, чем фильтр, использующий только одну операцию вида отмыкание или замыкание. Последовательный фильтр на базе операторов мягкой морфологии лучше удаляет шум, чем последовательный фильтр, использующий операции классической мягкой морфологии. Фильтр, использующий только операцию мягкого отмыкания или замыкания, удаляет как островки, так и проколы, сглаживает и выступы, и вырывы за один проход, поэтому целесообразным является выбор именно такого фильтра в случае необходимости высокой скорости работы, т. е. когда незначительно повышение качества фильтрации (например, с 0,99286 до 0,99462, как в случае с операциями $SoftOpen(A, B, t)$ и $SoftCloseOpen(A, B, t)$) является меньшим преимуществом, чем сокращение вычислений в процессе фильтрации в 2 раза.

На рис. 2 а показан фрагмент фотошаблона с выделенными областями обрыва и короткого замыкания.

На рис. 2 в и 2 г видно, что применение операций классической морфологии для удаления шума привело к смыканию обрыва и разрыву короткого замыкания на исходном зашумленном изображении. Если отфильтрованное изображение подать на вход системы контроля дефектов топологии, то данные дефекты не будут найдены. Отсюда следует недостаток фильтра, использующего классические операции отмыкания, замыкания или их комбинацию, который заключается в недостаточной чувствительности такого фильтра, т. е. образовании смыканий или обрывов на изображении при близком расположении объектов. В данном случае под близким следует понимать расположение объектов на расстоянии меньше радиуса структурирующего элемента. Например, минимальным симметричным структурирующим элементом, использование которого не сдвигает изображение, является ромб размером 3×3 пикселя. Радиус такого элемента равен 2, и при расстоянии между объектами равному 1 пикселю, происходит искажение топологии, т. е. образуются короткие замыкания или обрывы. Использование операторов мягкой морфологии с дополнительным параметром

ром – порогом фильтрации, позволяет сохранить топологию печатной платы в процессе удаления шума, даже если объекты изображения располагаются на расстоянии 1 пикселя друг от друга (рис. 2 б).

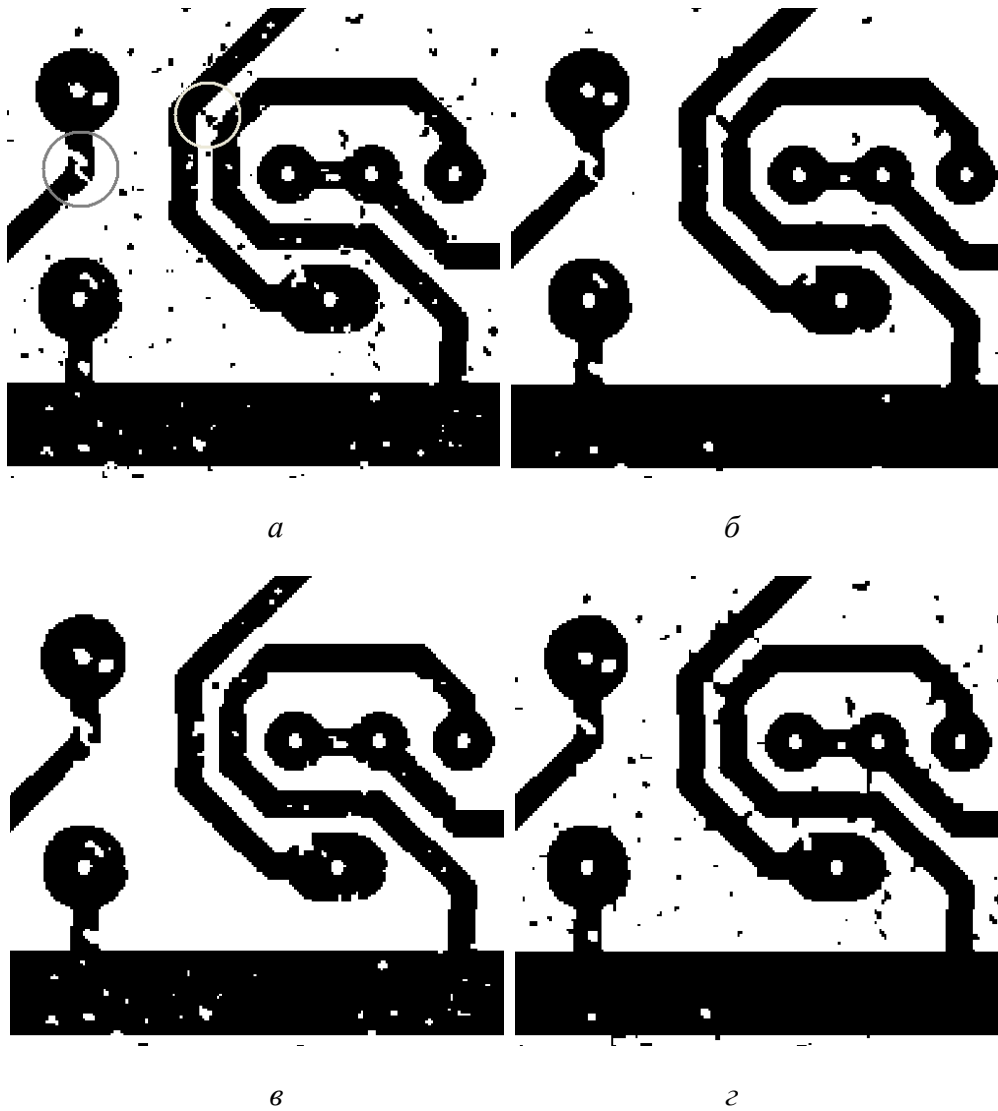


Рис. 2. Пример работы фильтра: *a* – фрагмент фотошаблона с выделенными областями разрыва и короткого замыкания, *б* – мягкое отмыкание $\text{SoftOpen}(A,B,0)$, *в* – отмыкание $\text{Open}(A,B)$, *г* – замыкание $\text{Close}(A,B)$

Выводы

На базе операторов мягкой математической морфологии предложены алгоритмы фильтрации, отличающиеся наличием дополнительных параметров работы, таких как порог фильтрации и количество итераций. В отличие от классических фильтров на базе отмыкания и замыкания, фильтр обладает свойством удалять шум вида островки, проколы, выступы и вырывы за один проход без применения последовательных фильтров. Применение данных алгоритмов позволяет привести меньше искажений при работе, даже если объекты изображения располагаются на расстоянии 1 пикселя друг от друга.

Экспериментальная проверка работы мягкого морфологического фильтра на примере изображения фотошаблона печатной платы показала лучшие результаты по сравнению с классическими морфологическими фильтрами.

Библиографические ссылки

1. *Giardina C. R., Dougherty E. R.* Morphological method in image and signal. Prentice Hall, New Jersey, 1988.
2. *Koskinen L.* Soft morphological filters // Proc. SPIE. Image Algebra and Morphological Image Processing II. 1991. V. 1568. P. 262–270.
3. *Kuosmanen P., Astola J.* Soft morphological filtering // Journal of Mathematical Imaging and Vision. 1995. V. 5. № 3. P. 231–262.
4. *Pu C., Shih F.* Threshold Decomposition of Grey-Scale Soft Morphology into Binary Soft Morphology // CVGIP – Graphical Models and Image Processing. 1995. V. 57. № 6. P. 522–526.
5. *Serra J.* Image analysis and Mathematical Morphology, Academic Press, New York, 1982.
6. *Shih F., Pu C.* Analysis of the properties of soft morphological filtering using threshold decomposition // IEEE Trans. Signal Processing. 1995. V. 43. № 2. P. 539–544.
7. *Sinha D., Dougherty R.* Fuzzy mathematical morphology // Journal of Visual Communication and Image Representation. 1992. V. 3. № 3. P. 286–302.
8. *Инютин А. В.* Фильтрация изображений с использованием операций мягкой морфологии // Искусственный интеллект. 2007. № 3. С. 217–228.
9. *Inyutin A. V.* The image filtration with use of operators of soft morphology // Proceedings of the Fifth International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence May 27–30, 2008, Minsk, Belarus. Минск, 2008. P. 173–176.
10. *Матерон Ж.* Случайные множества и интегральная геометрия. М. : Мир, 1978.