

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-1-102-114>
УДК 629.067



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

К ВОПРОСУ О ПОДАВЛЕНИИ ЦИФРОВОГО ШУМА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ПОСТРОЕНИИ КОНТУРОВ ОБЪЕКТОВ «ЛЕД – ВОДА» ПРИ ОБРАБОТКЕ ЛЕДОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

К.Н. ЗВЯГИН^{1*}, Д.Д. МАЛЬЦЕВ²

¹ АО Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры,
Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
Санкт-Петербург, Россия

*k.n.zvyagin@yandex.ru

Резюме

Настоящая работа посвящена практической реализации метода подавления цифрового шума при обработке изображений, содержащих ледовую информацию. На изображениях, содержащих ледовую информацию, присутствуют характерные особенности структуры, относящиеся к шуму, такие как зернистость, блики, ледовая крошка. Это затрудняет или делает невозможным автоматическое распознавание контуров объектов «лед – вода». Известно, что успех применения методов оконтуривания зависит от того, насколько понижена зашумленность изображения. В работе предлагается метод подавления цифрового шума для автоматического распознавания контуров объектов «лед – вода» в процессе аэрофотосъемки. Статья рассматривает построение метода подавления цифрового шума, основанного на последовательном применении вейвлет-преобразования Хаара, шумоподавлении с применением трэшолдинга, кластеризации методом k -средних. Для последующего автоматического построения контуров объектов «лед – вода» применяется оператор Собеля. Приведено описание особенностей каждого из шагов предложенного метода и его практическое применение на изображениях, содержащих ледовую информацию.

В заключении статьи сформулированы основные достоинства метода и возможное применение алгоритма в процессе локальной доразведки ледовой обстановки фарватера Северного морского пути при использовании беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки. Это позволит увеличить частоту обновления метеопрогноза, что будет способствовать обнаружению ледяных образований по курсу судна, предоставляя возможность заблаговременно выбрать оптимальный и экономически выгодный маршрут по Северному морскому пути.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, безопасность, беспилотный летательный аппарат, вейвлет-преобразование, метод k -средних, распознавание контуров, Северный морской путь.

Для цитирования: Звягин К.Н., Мальцев Д.Д. К вопросу о подавлении цифрового шума при автоматическом построении контуров объектов «лед – вода» при обработке ледовой информации // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66. Вып. 1. С. 102–114. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-1-102-114>.

Поступила 17.12.2019

После переработки 13.02.2020

Принята 20.02.2020

REVISITING THE DIGITAL NOISE REDUCTION IN AUTOMATIC CONTOURING OF “ICE-WATER” OBJECTS

KONSTANTIN N. ZVYAGIN¹, DANIL D. MALTSEV²

¹ Federal Scientific Production Center Russian National Scientific Research Institute of Radio Equipment, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

*k.n.zvyagin@yandex.ru

Summary

This work describes the practical implementation of the method for digital noise suppression during processing images containing ice information to recognize automatically the contours of «ice-water» objects during aerial photography. Images containing ice information have special characteristic structural features related to noise, e.g. granularity, glare, ice crumbs. This makes difficult or even impossible to recognize automatically the contours of ice-water objects. It is known that the success of the application of edge recognition methods depends on how much image noise is reduced. The paper discusses the construction method for the management of noise. The method is based on the sequential application of the Haar wavelet transform denoising using thresholding, clustering by *k*-means method. For the subsequent automatic construction of ice floes contours the Sobel operator is applied.

The aim of the work is to develop a method capable to process digital images effectively that contain ice information with strong digital noise. In this work we treated the images of one-year ice containing strong digital image noise in the form of granularity and in the form of ice crumbs. A description of the features of each of the steps of the proposed method and practical application is given.

As a result, the method was developed for processing images of ice information containing digital noise in absolute value commensurate with the basic data. It was noted that the use of the *k*-means method expands the scope. The *k*-rare method allows more detailed processing of ice information and distinguishes not only the contours of ice-water objects, but also the contours of ice crumbs.

The conclusion formulates the main advantages of the method and the possible application of the algorithm in the process of local exploration of the ice conditions of the Northern Sea Route channel using unmanned aerial vehicle for aerial photography. The usage of unmanned aerial vehicle for aerial photography will increase the frequency of weather forecast updates and predict the appearance of ice objects at the ship's heading. That will allow us to select the safest and most economical efficient route along the Northern Sea Route.

Keywords: air photography, computer vision, edge detection, *k*-means clustering, Northern Sea Route, safety, unmanned aerial vehicle.

For Citation: Zvyagin K.N., Maltsev D.D. Revisiting the digital noise reduction in automatic contouring of “ice-water” objects. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2020, 66 (1): 102–114. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-1-102-114>.

Received 12.17.2019

Revised 02.13.2020

Accepted 02.13.2020

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в ближайшем будущем по Северному морскому пути (СМП) планируется вывоз сжиженного газа на судах в восточном направлении, поэтому в настоящее время особое внимание уделяется необходимости обеспечения высоких средних скоростей движения по трассе [1].

Для обеспечения безопасности мореплавания судов с осадкой до 15 м при круглогодичной навигации по СМП от мыса Желания на восток нужна навигация нового уровня и совершенно новая организация проводок по СМП. Вопрос повышения безопасности навигации по СМП при новых условиях эксплуатации судов

является актуальным, учитывая тот факт, что трасса Российского СМП будет проложена и промерена по мелководным арктическим морям, между островами, а также вдоль берега Восточной Сибири.

В связи с этим возникает проблема заблаговременного автоматического распознавания и выделения определенной ледовой информации, такой как объекты «лед – вода» на изображениях, содержащих айсберги, всплывшие стамухи, обломки ледяных полей, вектор дрейфа которых приближается или пересекает фарватер СМП [2]. Для увеличения дальности и частоты прогноза ледовой обстановки, за пределами видимости судовой радиолокационной станции, на расстоянии до 100 морских миль, авторы предлагают использовать аэрофотосъемку с помощью судового беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Одной из важных задач при обработке ледовой информации, а именно поиске контуров объектов «лед – вода», является подавление цифрового шума в процессе обработки изображений. К цифровому шуму в нашем случае мы относим дефекты изображения, вносимые фотосенсором и электроникой цифрового фотоаппарата, вследствие несовершенства технологий, например зернистость. Помехи, вносимые бликующими краями, ледовой крошкой и неоднородностями у кромки льда, также относятся к шуму при поиске контуров объектов «лед – вода». Перечисленные составляющие шума изображения, а также незначительный перепад яркости в условиях слабой освещенности на границе объектов «лед – вода» являются причиной возникновения дефектов распознавания краев объектов «лед – вода».

Известно, что обработка любых изображений — это набор многоуровневых процедур, использующих цепочку разных алгоритмов с разными промежуточными целями. Положительный эффект применения методов получения контура зависит от того, насколько понижена зашумленность изображения, выровнена его яркость, убраны блики, получены наилучшие резкость и контрастность, без потери существенных фрагментов границ искомым объектам «лед – вода».

Одним из современных методов улучшения качества изображения является метод подавления цифрового шума в изображениях с помощью вейвлет-преобразований [3]. Этот подход получил большое развитие в 1980-х гг. с публикацией серии работ И. Добеши по дискретному вейвлет-анализу [3].

Целью нашего исследования было практическое решение локальной задачи реализации метода распознавания компьютерным зрением границ объектов «лед – вода» на фотографиях плавучего льда, выполненных с борта БПЛА в акватории Финского залива цифровым фотоаппаратом с разрешением изображения 1920×1080 пикселей в условиях естественного освещения. При этом на изображении присутствуют собственные особенности структуры и состояния поверхности льда: зернистость, блики, ледовая крошка, скрывающие истинное положение твердого края. В этом состоит отличие изображений объектов «лед – вода» от фотографий лиц людей, предметов и т.д.

МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОГО ШУМА

Известно, что выделение контуров объектов играет важную роль в анализе изображений и распознавании образов при решении проблемы компьютерного зрения [4]. Контур объекта является областью перепада значений яркости. Перепад яркости — это связанное множество пикселей, лежащих на границе между двумя областями. Случайные изменения значения интенсивности на изображении называются

шумом. Алгоритмы шумоподавления обычно специализируются на подавлении одного конкретного шума [4]. Одним из методов обработки зашумленных сигналов является трешолдинг. Он представляет собой разложение рассматриваемого сигнала в вейвлет-спектр с последующей его обработкой [5]. Известно, что вейвлеты — это функции в виде коротких волн с нулевым интегральным значением [6]. Вейвлет-преобразование является разложением исходного сигнала на аппроксимирующие коэффициенты, представляющие сглаженный сигнал, и детализирующие коэффициенты, описывающие колебания [6]. Информация о шумовой компоненте в основном содержится в детализирующих коэффициентах, поэтому именно они обрабатываются при очистке от шумов. Из вейвлетов Хаара, Мейера, Добеши и Симлета для очистки сигналов от шумов в данной работе выбран вейвлет Хаара [6].

Для оценки качества шумоподавления был выбран оператор Собеля [7] как метод выделения контуров объектов «лед – вода». По данным работы [7] известно, что наиболее четкие границы объектов на изображении получаются именно при использовании оператора Собеля, который представляет собой дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближенные значения производных разного порядка для функции яркости пикселей [7]. Наиболее распространенным примером практического использования этого оператора является определение контуров объектов на изображении, то есть точек резкого изменения яркости на границах объектов [7].

В качестве метода шумоподавления для обработки ледовой информации в виде фотографий, содержащих объекты «лед – вода», предложены следующие шаги:

1. Получение декомпозиции исходного изображения (на сглаженный сигнал и детализирующие коэффициенты) на основе применения вейвлет-функции Хаара к исходному изображению.

2. Применение процедуры трешолдинга (пороговой фильтрации) к детализирующим коэффициентам [8].

3. Восстановление исходного размера изображения путем обратной композиции сглаженного сигнала и отфильтрованных детализирующих коэффициентов.

Оценка качества метода производилась путем применения оператора Собеля к изображению с последующим анализом результата.

Вейвлет-функция Хаара $\psi(x)$ задавалась следующим образом:

$$\psi(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0 \text{ и } x \geq 1, \\ 1 & \text{при } 0 \leq x < 0,5, \\ -1 & \text{при } 0,5 \leq x < 1, \end{cases} \quad (1)$$

где $\psi(x)$ — это вейвлет функция, x — обрабатываемый сигнал.

В данной работе применена (упомянутая в работе [8]) «жесткая» пороговая фильтрация, которая задана следующим образом:

$$p(x) = \begin{cases} x, & |x| \geq C, \\ 0, & |x| < C, \end{cases} \quad (2)$$

где $p(x)$ — функция трешолдинга, x — обрабатываемый сигнал, C — значение порога трешолдинга.

Оператор Собеля, используемый в данной работе, представляет собой применение матриц A_1 и A_2 последовательно по горизонтали и по вертикали к исходному изображению. Это преобразование эквивалентно дискретному дифференцированию функции распределения интенсивностей пикселей, находящихся под матрицей. Эти матрицы взаимно транспонированы и заданы следующим образом:

$$A_1=M=\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad A_2=M^T=\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где A_1 — это результат применения оператора Собеля к строкам изображения M , A_2 — результат применения оператора Собеля к столбцам изображения M^T .

РЕЗУЛЬТАТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА

В качестве исходного изображения было выбрано изображение в градациях серого цвета. Данное изображение является типичным изображением из серии фотографий однолетнего льда, выполненных цифровой фотокамерой (рис. 1а).

Продемонстрируем необходимость применения предлагаемого метода шумоподавления путем применения оператора Собеля непосредственно к исходному изображению. Оператор Собеля применялся последовательно к строкам и столбцам исходного изображения. Таким образом, без предварительной обработки (шумоподавления) было получено изображение следующего вида, представленного на рис. 1б.

На изображении, полученном после применения оператора Собеля непосредственно к исходному изображению, видно обилие шумов в виде множества паразит-

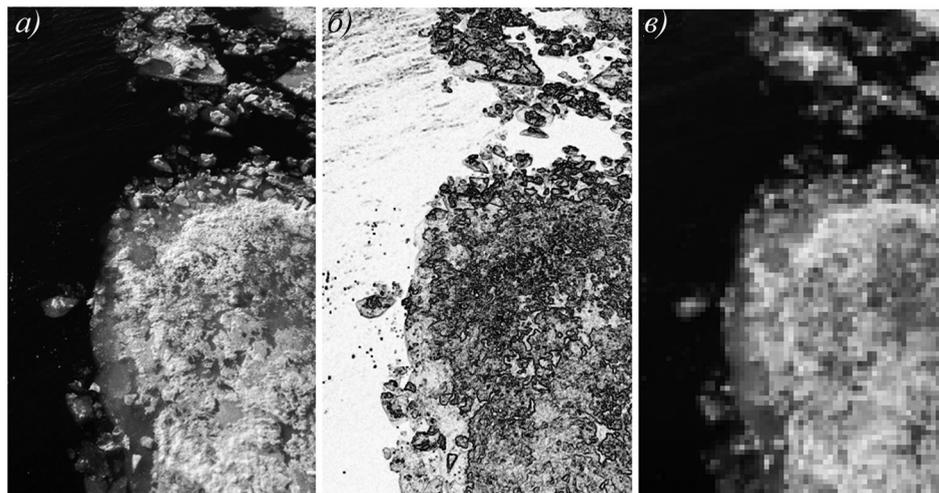


Рис. 1. Результат применения предлагаемого метода шумоподавления путем применения оператора Собеля непосредственно к исходному изображению.

a — исходное изображение льда, *б* — результат применения оператора Собеля к исходному изображению без шумоподавления, *в* — изображение льда после применения вейвлет-преобразования и трешолдинга

Fig. 1. The result of applying the proposed noise reduction method by applying the Sobel operator directly to the original image.

a — source image of ice floe, *б* — the result of applying the Sobel operator to the original image without noise reduction, *в* — image of ice floe after the wavelet-transform and thresholding

ных линий и ложных контуров. Это происходит по причине высокой интенсивности шумов. Численное значение производной по яркости шума в некоторых частях изображения сравнимо со значениями производной по яркости на границе искомого объекта «лед – вода». Также присутствует обилие ложных локальных максимумов. По этим причинам автоматическое построение контура искомого объекта путем применения единственного оператора Собеля затруднено. Однако по исходному изображению, представленному на рис. 1а, мы можем определить границы контура искомого объекта визуально.

Для обеспечения автоматизации выделения контура объекта «лед – вода» методом компьютерного зрения предполагается, что сигнал шумовой компоненты должен быть по модулю меньше основной составляющей исходного сигнала. Способ очистки от шума (при выполнении этого условия) заключается в присвоении нулевых значений коэффициентам, не превышающим некоторое пороговое значение. Процедура пороговой фильтрации называется трешолдингом детализирующих коэффициентов. В данной работе была применена так называемая «жесткая» пороговая фильтрация [8]. При этом порог фильтра принимает значение максимального детализирующего коэффициента на каждом шаге декомпозиции согласно выводу, полученному в следующем разделе.

Для проведения эксперимента авторами была составлена программа на языке C++, позволяющая управлять глубиной декомпозиции и порогом трешолдинга. Экспериментально было установлено, что для данного типа изображений оптимальной глубиной декомпозиции является третий уровень. В результате применения предложенного метода шумоподавления с уровнем декомпозиции, равным трем, и значением порога шумоподавления, равным максимальному детализирующему коэффициенту, к исходному изображению было получено модифицированное изображение (рис. 1б).

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

В цифровой обработке сигналов качество финального изображения определяется большим количеством технических характеристик. Например, таких как соотношение сигнал/шум, статистические характеристики шума, градиционные характеристики, спектральные (цветовые) характеристики и т.д. На практике для оценки качества шумоподавления или иных преобразований изображений используются такие критерии, как пиковое отношение сигнал/шум PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) и среднеквадратическое отклонение (СКО).

Среднеквадратическое отклонение (СКО) согласно ГОСТ Р 8.736-2011 имеет вид:

$$MSE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4)$$

Пиковое отношение сигнал/шум характеризуется следующим выражением:

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right), \quad (5)$$

где MAX_I — максимальное значение, которое принимает пиксель изображения.

В нашем случае, при работе с изображениями в градациях серого и в 8-битном режиме, MAX_I принимает значение максимального значения пикселя 255.

Для осуществления расчета PSNR и СКО необходимо иметь исходное изображение соответствующего качества (далее исходное изображение), исходное изо-

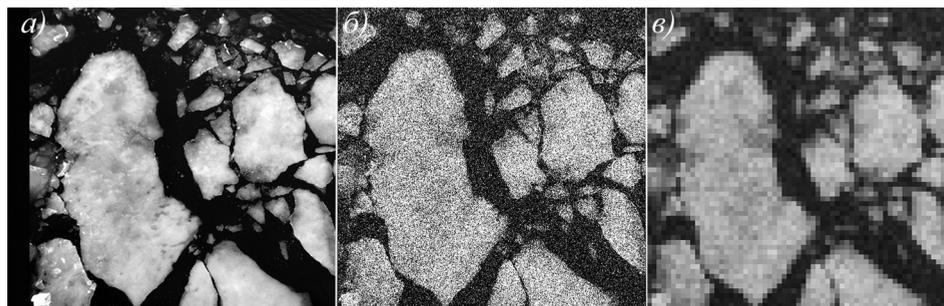


Рис. 2. Стадии изменения ледовой информации в процессе оценки СКО.

a — исходное изображение, *б* — зашумленное изображение, *в* — обработанное изображение

Fig. 2. Stages of changes in ice information during the assessment of standard deviation.

a — source image, *б* — noised image, *в* — processed image

бражение, содержащее шумовую компоненту (далее зашумленное изображение), а также изображение, прошедшее пороговую фильтрацию предложенным методом шумоподавления (далее обработанное изображение) (рис. 2).

Для получения зашумленного изображения к исходному изображению был добавлен аддитивный белый гауссовский шум, который характеризуется равномерной спектральной плотностью, нормально распределенным значением амплитуды и аддитивным (шум суммируется с полезным сигналом) способом воздействия на сигнал. Данный тип шума наиболее распространен для расчета и моделирования шума в цифровых изображениях как аналог цифрового шума [9]. Обработанное изображение является характерным результатом шумоподавления с использованием вейвлет-преобразований и трешолдинга. Конкретно для получения обработанного изображения (рис. 2в) был выбран порог трешолдинга, равный максимальной интенсивности шумовой составляющей, и глубиной декомпозиции, равной трем. При этом значение PSNR стало равно 31,4, а значение СКО стало равно 46,9.

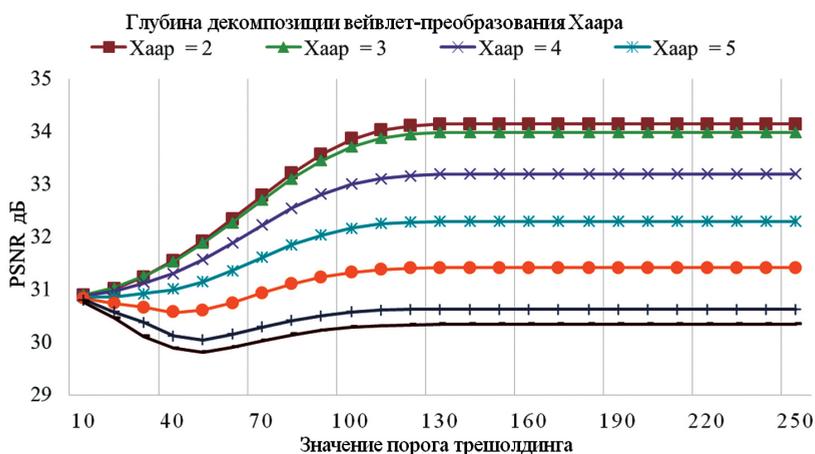


Рис. 3. Зависимость значения PSNR от глубины декомпозиции вейвлет-преобразования и значения порога трешолдинга

Fig. 3. PSNR values versus wavelet transform decomposition depth and thresholding threshold value

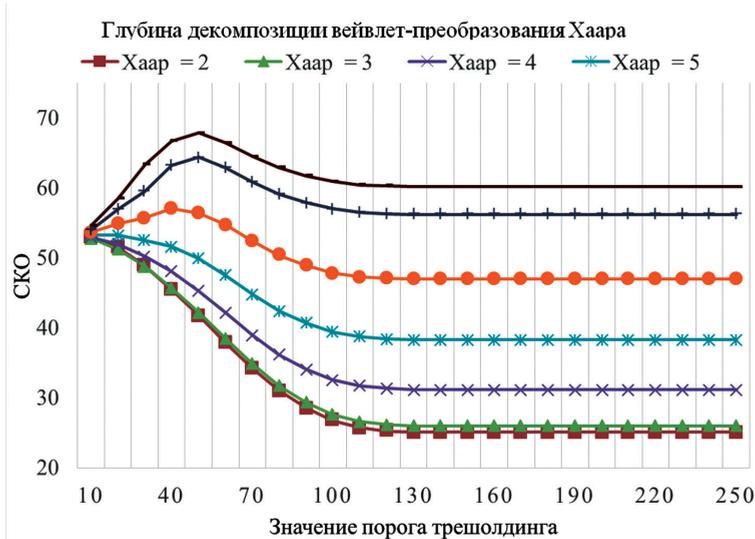


Рис. 4. Зависимость значения СКО от глубины декомпозиции вейвлет-преобразования и значения порога трешолдинга

Fig. 4. Mean squared error values versus wavelet transform decomposition depth and thresholding threshold value

Для анализа изменения характеристик PSNR и СКО было произведен ряд экспериментов на имеющихся изображениях с помощью разработанной программы на C++. В результате суммарной оценки результатов сформированы графики изменения PSNR (рис. 3) и СКО (рис. 4), показывающие зависимость изменения качества шумоподавления от глубины декомпозиции.

Анализ графиков показывает, что наиболее эффективными значениями глубины декомпозиции являются значения 2 и 3 со значением порога шумоподавления более 160. Следует заметить, что дальнейшее увеличение порога шумоподавления не влияет на ухудшение оценки PSNR. Таким образом, оптимальное значение порога шумоподавления равно максимальному значению детализирующего коэффициента при вейвлет-декомпозиции.

УЛУЧШЕНИЕ МЕТОДА

Используя полученные коэффициенты и получив обработанное изображение (см рис. 1б), применим к нему оператор Собеля. В результате обработки получим следующее изображение, представленное на рис. 5а. По сравнению с рис. 1б на рис 5а на изображении стала более четко видна граница объекта «лед – вода».

Следует отметить, что граница получилась не однозначной, а имеет паразитные линии. Данные паразитные линии возникают из-за сильного шумоподавления на каждом из шагов декомпозиции и в то же время отражают неоднородность кромки льда. Поэтому было принято решение улучшить настоящий метод шумоподавления путем добавления шага бинаризации после пункта 3.

Для разбиения исходного множества пикселей изображения на два подмножества, черного и белого соответственно, был выбран метод кластеризации k -средних [10]. Метод k -средних разбивает исходное множество на k подмножеств, используя

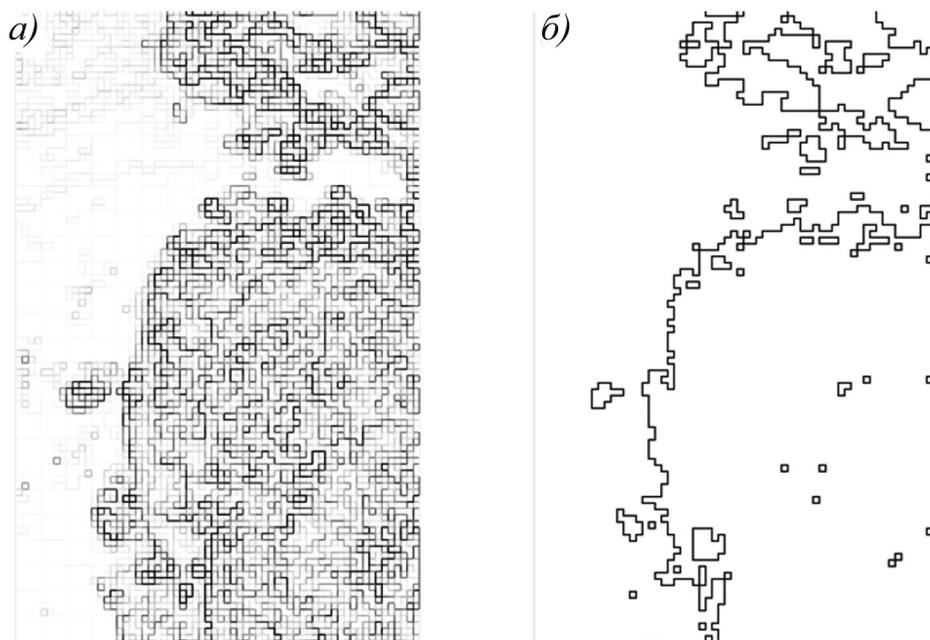


Рис 5. Результаты применения оператора Собеля к изображениям, содержащим ледовую информацию.

a — изображение после применения оператора Собеля и применения метода шумоподавления, *б* — результат автоматической прорисовки контура объекта «лед – вода» оператором Собеля после применения усовершенствованного метода шумоподавления

Fig. 5. The results of applying the Sobel operator to images, containing ice information.

a — image of the ice floe after the Sobel transform and the application of the noise reduction method, *b* — the result of automatic drawing of the contour of the “ice – water” object by the Sobel operator after the application of the improved noise reduction method

значение Евклидова расстояния как критерий разделения. Метод построен на минимизации суммарного квадратичного отклонения точек подмножеств от центров этих подмножеств. Метод *k*-средних характеризуется следующим уравнением:

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} (x - \mu_i)^2, \tag{4}$$

где *k* — число подмножеств, *S* — полученные подмножества, *i* = 1, 2 ... *k*, μ_i — центры масс всех векторов *x* из множества *S_i*.

Приведем примеры разбиения изображения на подмножества пикселей методом *k*-средних. Число *k* задается вручную и принимает значения 3, 4, 5 в соответствии с заданным количеством результирующих подмножеств (см. рис. 6). Цветовая раскраска изображений на рис. 6 применяется автоматически и в случайном порядке, по причине особенности работы алгоритма и случайного выбора центров масс, и не зависит от типа объекта, располагающегося под тем или иным подмножеством пикселей.

На основании получившегося разбиения при значении *k* = 5 появляется возможность использовать полученные подмножества для более точной атрибуции таких объектов, как лед, вода, ледяная крошка, при дальнейшем использовании алгоритмов

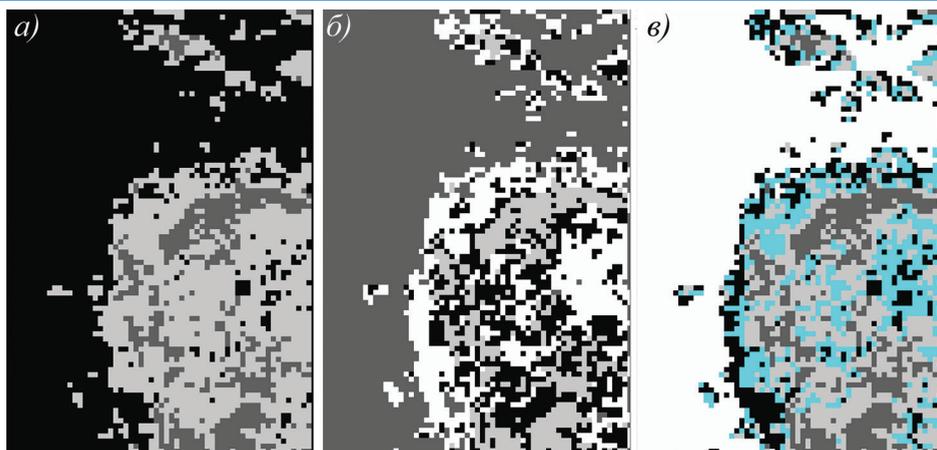


Рис. 6. Результаты кластеризации ледовой информации в зависимости от значений k .

a — изображение 1σ после применения k -средних при $k = 3$, b — изображение 1σ после применения k -средних при $k = 4$, v — изображение 1σ после применения k -средних при $k = 5$

Fig. 6. Clustering results of ice information depending on different k values.

a — image 1σ after applying k -means with $k = 3$, b — image 1σ after applying k -means with $k = 4$, v — image 1σ after applying k -means with $k = 5$

машинного обучения (см. рис. 6в). Обозначенное направление по автоматической атрибуции различных типов ледяных образований с помощью алгоритмов машинного обучения является одним из направлений дальнейшего исследования.

Применяя усовершенствованный метод шумоподавления, содержащий новый шаг обработки изображения методом k -средних, с последующим применением оператора Собеля для получения контура объекта «лед – вода» мы получаем изображение, содержащее четкий контур объекта «лед – вода» (см. рис. 5б).

В результате использования метода k -средних общее множество пикселей было поделено на подмножество пикселей открытой воды и подмножество пикселей льда. Это позволило однозначно выделить контуры объектов «лед – вода», учитывая неоднородности, такие как ледовая крошка и неровная кромка. Таким образом, применяя оператор Собеля к изображению, полученному после применения метода k -средних, можно получить искомый контур объекта «лед – вода» без помех (см. рис. 5б). Метод k -средних позволяет увеличить количество искомым множеств в общем множестве пикселей цифрового изображения. При увеличении искомым подмножеств мы получаем множество пикселей, принадлежащих ледовой крошке у кромки льда. Это открывает возможности для более детальной обработки ледовой информации и выделения контуров не только объектов «лед – вода», но и контуров ледовой крошки, ледового сала, шуги. Построение контуров перечисленных типов объектов является одним из направлений дальнейшего исследования.

Таким образом, для автоматического построения контуров объектов «лед – вода» с применением оператора Собеля настоящий метод шумоподавления состоит из следующей последовательности шагов обработки цифрового изображения:

1. Получение декомпозиции исходного изображения (на сглаженный сигнал и детализирующие коэффициенты) на основе применения вейвлет-функции Хаара к исходному изображению.

2. Применение процедуры трешолдинга (пороговой фильтрации) к детализирующим коэффициентам.

3. Восстановление исходного размера изображения путем обратной композиции сглаженного сигнала и отфильтрованных детализирующих коэффициентов.

3. Бинаризация изображения путем применения метода k -средних.

Данный метод был отработан нами на банке данных, содержащем более ста фотографий плавучего однолетнего льда, полученных в результате аэрофотосъемки с борта БПЛА в акватории Финского залива. Аэрофотосъемка проводилась в условиях дневного освещения, в метеоусловиях, характерных для марта, а именно: средняя температура воздуха в этот период $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя температура воды $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$. В результате обработки имеющегося банка данных опытным путем получены следующие рекомендуемые значения. Для шумоподавления с применением вейвлет-функции Хаара эффективная глубина декомпозиции 3 или 4 со значением порога шумоподавления более 160. Для бинаризации k -средних эффективные значения k , равные 2 и 3 соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод подавления цифрового шума для автоматического распознавания контуров объектов «лед – вода» на базе вейвлет-преобразований повышает качество работы оператора Собеля, выделяющего контуры объектов «лед – вода», при наличии цифровых шумов, по абсолютной величине соизмеримых с основным сигналом. Метод включает в себя базисную вейвлет-функцию Хаара и применение адаптивного трешолдинга в части фильтрации, метод k -средних для отделения подмножества пикселей, принадлежащего льду, от подмножества пикселей свободной водной поверхности.

Практическое применение метода возможно для анализа ледовой информации в процедуре автоматического построения контуров объектов «лед – вода». Например, в процессе аэрофотосъемки ледяных образований при ледовой разведке с помощью БПЛА по маршруту движения судна за пределами видимости судовой радиолокационной станции. На основе полученных сведений появляется возможность выбора экономичного и безопасного курса за 6–7 часов хода до встречи с разведанными ледяными образованиями. Данная процедура может повысить безопасность фарватера СПМ в условиях полярной ночи, плохих метеоусловий, по мелководным частям ограниченного по ширине фарватера СМП. Общее усиление безопасности движения судов на трассе СМП может привести к снижению страховых платежей при интенсивной эксплуатации дорогостоящих арктических танкеров.

Использование БПЛА может потребовать дополнительной установки радиотехнической системы ближней авианавигации на судах для обеспечения авиационной безопасности в районе движения судна по фарватеру. Сведения о работе БПЛА могут быть автоматически переданы на пульт управления воздушным движением местного диспетчерского пункта или на пульт управления воздушным движением региональной авиации.

Конфликт интересов. У авторов нет конфликта интересов.

Благодарности. Авторы благодарны кандидату технических наук Н.И. Звягину за участие в подготовке статьи.

Competing interests. The authors have no competing interests.

Acknowledgments. The authors would like to thank Dr. N.I. Zvyagin for his active position during preparation of this paper.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добродеев А.А., Клементьева Н.Ю., Сазонов К.Е. Несимметричное движение крупнотоннажных судов в «узком» ледовом канале // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64 (2). С. 200–207.
2. Миронов Е.У., Смирнов В.Г., Бычкова И.А., Клячкин С.В., Дымент Л.Н., Захваткина Н.Ю., Май Р.И., Гузенко Р.Б., Сапериштейн Е.Б., Михальцева С.В., Платонова Е.В., Астарцев Л.А. Экспериментальный аппаратно-программный комплекс спутникового мониторинга и прогноза ледовой обстановки // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. № 2 (112). С. 15–26.
3. Московский С.Б., Сергеев А.Н., Лалина Н.А. Очистка сигнала от шумов с использованием вейвлет-преобразования // Universum: Технические науки: электронный научный журнал. 2015. № 2 (15). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1958> (дата обращения 24.03.2020).
4. Буй Т.Ч., Спицын В.Г. Анализ методов выделения краев на цифровых изображениях // Доклады ТУСУР. 2010. № 2 (22). Ч. 2. С. 221–223.
5. Марусина М.Я., Анодина-Андриевская Е.М. Вейвлетный анализ в обработке томографических изображений // Научное приборостроение. 2011. Т. 21 (1). С. 71–75.
6. Звягин К.Н., Войткунская А.Я., Мальцев Д.Д. Третичная обработка радиолокационной информации с использованием вейвлет-преобразования // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 1 (4). С. 218–223.
7. Суханов Р.А., Хайдаров А.С. Применение фильтра Собеля для тектонического районирования на примере юрских отложений одного из месторождений ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» // PRОнефть. Научно-технический журнал «Газпром нефти». 2017. Вып. 1 (3). С. 20–22.
8. Обидин М.В., Серебровский А.П. Вейвлеты и адаптивный трешолдинг // Информационные процессы. 2013. Т. 13 (2). С. 91–99.
9. Евтихийев Н.Н., Стариков С.Н., Черемхин П.А. Оценка влияния динамического диапазона и шумов регистрирующих камер на качество цифровых голограмм // Оптический журнал. 2013. Т. 80 (5). С. 53–64.
10. Likas A., Vlassis N., Verbeek J. The Global K-means clustering algorithm // Pattern Recognition. 2003. V. 36. P. 451–461.

REFERENCES

1. Dobrodeev A.F., Klementyeva N.Y., Sazonov K.E. A skewed movement of large-size ships in “narrow” ice channel. *Problemy Arktiki I Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2018, 64, 2: 200–207. [In Russian].
2. Mironov E.U., Smirnov V.G., Bychkova I.A., Klyachkin S.V., Dyment L.N., Zakhvatkina N.Yu., May R.I., Guzenko R.B., Sapershteyn E.B., Mihalceva S.V., Platonova E.V., Starcev L.A. Experimental hardware-software complex of satellite monitoring and forecast of ice conditions. *Problemy Arktiki I Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2017, 2 (112): 15–26. [In Russian].
3. Moscovskiy S.B., Sergeev A.N., Lalina N.A. Cleaning of a signal from noise by using Wavelet transformation. *Universum: Technical science, digital journal*. 2015, № 2 (15). Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1958> (accessed 24.03.2020).
4. Bui T.Ch., Spitsyn V.G. Analysis of methods of digital images edge detection. *Doklady TUSUR*. Proceedings of TUSUR. 2010, 2 (22): 221–223. [In Russian].
5. Marusina M.Ya., Anodina-Andrievskaya E.M. Wavelet analysis in tomographic imagesprocessing. *Nauchnoe Priborostroenie*. Scientific Instrumentation. 2011, 21: 71–75. [In Russian].
6. Zvyagin K.N., Voitkunskaia A.Ya., Maltcev D.D. Tertiary treatment of radar information using wavelet transformation. *Morskie intellektualnye tehnologii*. Marine Intellectual Technologies. 2018, 1 (4): 218–223. [In Russian].

7. Suchanov R.A., Khaidarov A.S. Application of Sobel filter for tectonic zoning on the example of Jurassic deposits for one of the fields of “Slavneft-Megionneftegaz”. *PROneft'. Nauchno-tehnicheskii zhurnal “Gazprom-Oil”*. Journal of “Gazprom-Oil”. 2017, 1 (3): 20–22. [In Russian].
8. Obidin M.V., Serebroski A.P. Wavelets and adaptive thresholding. *Informacionnye processy. Information processes*. 2013, 13 (2): 91–99. [In Russian].
9. Evtikhiev N.N., Starikov S.N., Cheremkhin P.A. Estimating how the dynamic range and noise of the recording cameras affect the quality of digital holograms. *Opticheskii zhurnal. Journal of Optical Technology*. 2013, 80 (5): 301–308.
10. Likas A., Vlassis N., Verbeek J. The Global *K*-means clustering algorithm. *Pattern Recognition*. 2003, 36: 451–461.