

Новые алгоритмы морфологических преобразований для выделения объектов морских судов от фона

Ш. С. Фахми, Н. А. Пономарев[✉], М. Т. М. Хо

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

[✉] samos.gik@mail.ru

Аннотация. Предложены алгоритмы улучшения сегментации изображений с фокусом на морфологических преобразованиях для решения задач распознавания морских судов. Особое внимание уделяется бинаризации изображений и ее роли в выделении морских судов. Разработанные алгоритмы исследуются и оцениваются на примере сегментации транспортных сюжетов. Приведены результаты выделения контуров на основе операторов Соболя, Прюитт и Кэнни. Результаты оценки точности предложенных алгоритмов показали увеличение точности распознавания морских судов в среднем на 15 % по сравнению с известными методами распознавания на основе метода Виолы–Джонса на вейвлетах Хаара и на 12 % по сравнению с методом распознавания по опорным точкам.

Ключевые слова: сегментация, морфологические преобразования, бинаризация, эрозия, дилатация, распознавание морских судов

Для цитирования: Фахми Ш. С., Пономарев Н. А., Хо М. Т. М. Новые алгоритмы морфологических преобразований для выделения объектов морских судов от фона // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 8. С. 50–56. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-8-50-56.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Original article

Using Morphological Transformations to Recognize Ships and Vessels

S. Sh. Fahmi, N. A. Ponomarev[✉], M. T. M. Ho

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

[✉] samos.gik@mail.ru

Abstract. The article proposes algorithms for improving image segmentation with a focus on morphological transformations to solve problems of recognition of marine vessels. Particular attention is paid to the binarization of images and its role in the identification of marine vessels. The developed algorithms are investigated and evaluated using the example of segmentation of transport plots. The results of contour selection based on such operators as Sobol, Prewitt and Canny are presented. The proposed algorithms were found to provide for higher accuracy of recognition of marine vessels by an average of 15 % compared to the known recognition methods based on the Viola and Jones method on Haar Wavelets and by 12 % compared to the recognition method by reference points.

Keywords: segmentation, morphological transformations, binarization, erosion, dilation, marine vessel recognition

For citation: Fahmi S. Sh., Ponomarev N. A., Ho M. T. M. Using Morphological Transformations to Recognize Ships and Vessels // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2023. Vol. 16, no. 8. P. 50–56. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-8-50-56.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Введение. Информационные технологии и интеллектуальное развитие изменили режим работы и направление многих отраслей промышленности. Традиционная отрасль морского судостроения также постепенно перешла от оцифровки и информатизации к интеллекту [1]. Подход глубокого обучения, будучи крупным достижением в области машинного обучения за последние десятилетия, становится наиболее мощным методом для интеллектуальной транспортной системы [2]. Однако требования миниатюризации и уменьшения габаритов средств обнаружения и распознавания для наблюдения с применением различных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) стали более жесткими и необходимыми для создания умных камер наблюдения в составе БЛА [3].

Корабли составляют важную часть современной транспортной системы, обеспечивая перевозку грузов и пассажиров по морским и речным путям. Однако рост экономики и увеличение транспортного потока на воде приводят к усложнению эксплуатации кораблей и усугублению проблем, связанных с их безопасностью. Это подчеркивает необходимость разработки эффективных инструментов управления и контроля, направленных на обеспечение высококачественной ситуационной осведомленности на маршрутах и тем самым увеличивающих безопасность движения кораблей.

Одним из подходов к улучшению управления и обеспечения безопасности служит применение новых алгоритмов компьютерного зрения в транспортных системах наблюдения, в частности на море, и совершенствования анализа изображений морских сюжетов. Наиболее важна и востребована для распознавания морских судов сегментация изображений как процесс отделения морских объектов (МО) от фона [4].

В настоящее время существуют следующие алгоритмы сегментации объектов на изображении [5]:

- пороговая сегментация;
- региональные алгоритмы;
- алгоритмы на основе теории графов.

Пороговая сегментация основана на установлении порогового значения, при котором пиксели разделяются на две группы: те, чья интенсивность (яркость) или цвет выше порогового значения, и те, чья интенсивность (яркость) или цвет ниже порогового значения.

Региональные алгоритмы сегментации основаны на объединении пикселей в регионы схожих свойств. Это может быть достигнуто при помощи анализа текстуры, цвета или яркости пикселей. Регионы формируются слиянием смежных пикселей со схожими свойствами. Процесс продолжается до тех пор, пока все пиксели не будут отнесены к определенным регионам.

Алгоритмы, основанные на теории графов, моделируют изображение в виде графа, где пиксели представлены вершинами, а связи между ними – ребрами. Алгоритмы, например алгоритм разреза графа или алгоритм минимального разреза, используются для разделения графа на различные сегменты. Разрез графа обычно происходит на основе различных свойств пикселей – их цвета, яркости или градиента.

В данной статье исследуются и разрабатываются новые алгоритмы улучшения сегментации изображений МО с использованием морфологических операций для решения задач обнаружения и отделения МО от фона. При этом в качестве отправной точки были выбраны морфологические операции – дилатация, эрозия, открытие и закрытие.

В рамках исследования будут описаны предложенные алгоритмы для улучшения сегментации.

Описание предложенных алгоритмов улучшения сегментации. В начале необходимо выполнить первичную обработку изображения и определение диапазона значений яркости RGB-палитры:

1. Определить диапазон яркости цветовой палитры искомого объекта.
2. Установить все фрагменты изображения, соответствующие заданному диапазону.
3. Полученные фрагменты объединить и вывести в итоговое изображение для последующей обработки.
4. Бинаризация изображения МО.

Бинаризация изображения – это процесс преобразования изображения в монохромное, где каждый пиксель может принимать только одно из двух значений: черный или белый. Этот процесс необходим для разделения изображения на передний (МО) и задний (фон) планы, что позволяет определить, какие именно пиксели должны быть подвергнуты морфологическим операциям.

Алгоритм бинаризации. Шаги алгоритма выглядят следующим образом:

1) преобразовать изображение в оттенки серого усреднением значений RGB-каналов каждого пикселя;

2) выбрать пороговое значение, которое будет разделять пиксели на черные и белые;

3) сканировать с обходом все пиксели изображения и сравнить их интенсивность с пороговым значением;

4) установить пиксель в черный цвет, если его интенсивность ниже порога, или в белый, если интенсивность выше порога.

В результате описанных преобразований будет получено промежуточное изображение, над которым и будут выполняться предлагаемые далее алгоритмы сегментации.

В данной статье представлены новые алгоритмы для сегментации – морфологические операции, включая эрозию, дилатацию, открытие и закрытие. Они представляют собой инновационный подход к сегментации объектов на изображении с учетом их формы, размера и структуры.

Для исследования введем следующие определения и обозначения:

1) структурный элемент – шаблон, который определяет, какие пиксели будут изменены в результате операции. Существует несколько подходов к построению структурных элементов, один из них – использование предопределенных форм – кругов, квадратов или прямоугольников. Будет применяться структурный элемент в виде матрицы 3×3 пикселя с главным пикселем в центре этой матрицы;

2) двумерное изображение – входное изображение кораблестроительной отрасли, рассматри-

ваемое как двумерная матрица пикселей, где каждый пиксель представляет яркость или цвет.

Алгоритм эрозии. Данный алгоритм включает основную операцию эрозии и позволяет уменьшить размер МО на изображении, удаляя лишние пиксели вдоль контура МО. В алгоритм входят:

1) формирование структурного элемента для сканирования изображения и выделения МО;

2) анализ содержимого структурного элемента: пиксели внутри структурного элемента считаются частью объекта. Если же хотя бы один пиксель структурного элемента находится за пределами объекта, то соответствующий пиксель на выходном изображении не будет отражен;

3) удаление шумов посредством определения расстояний соседних пикселей вдоль контура МО.

Результат работы алгоритма показан на рис. 1.

Алгоритм дилатации. Дилатация заключается в обратном процессе эрозии, т. е. увеличивает размер МО на изображении, добавляя пиксели, являющиеся частью объекта. В процессе дилатации пиксели объекта расширяются по всем направлениям периметра МО. Также для этого используется соответствующий структурный элемент, перемещающийся по изображению.

Блок-схема алгоритма дилатации идентична изображенной на рис. 2, за исключением блока анализа исходного изображения, где проверяется принадлежность пикселей фону. Результат работы данного алгоритма показан на рис. 3.

Алгоритмы открытия и закрытия. Данные алгоритмы позволяют выполнить следующее:

- удаление шумов на изображении;
- разрыв связей между объектами для формирования более качественного контура МО;



Исходное изображение



Промежуточное изображение



Результат эрозии

Рис. 1. Применение алгоритма эрозии
Fig. 1. Application of the erosion algorithm

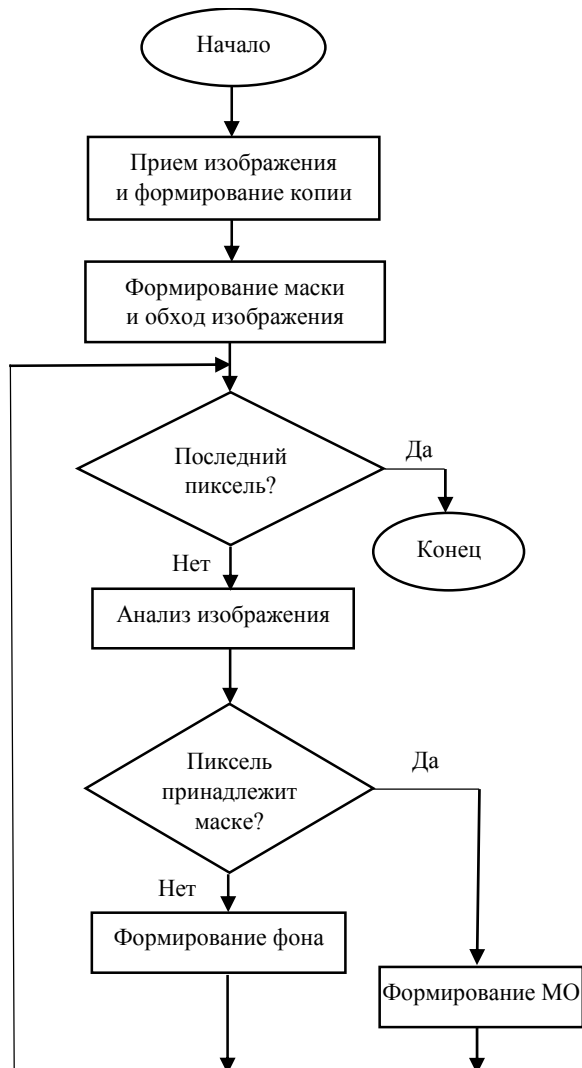


Рис. 2. Блок-схема алгоритма эрозии
Fig. 2. Block diagram of the erosion algorithm

– удаление малых объектов и заполнение небольших дырок в объектах на изображении со сглаживанием контуров объектов и с улучшением качества изображения;



Исходное изображение



Промежуточное изображение



Результат дилатации

Рис. 3. Применение алгоритма илатации
Fig. 3. Application of the dilation algorithm

– заполнение малых дырок в найденных объектах;
– масштабирование и увеличение размеров объектов.

Перечисленные морфологические операции могут быть комбинированы и использованы последовательно для достижения наилучших результатов сегментации и обработки изображений.

Результаты моделирования алгоритмов закрытия и открытия показаны на рис. 4, а и б соответственно.

Результаты моделирования алгоритмов улучшения сегментации. Предложенные алгоритмы были применены к различным изображениям, относящимся к классификации морских сюжетов по неопределенности и широкополосности [6]. Цветные изображения были преобразованы в изображения с градацией серого цвета, после чего была выполнена сегментация и применены методы распознавания. Результаты исследования подтверждают, что эти алгоритмы показывают высокую эффективность и способны успешно справляться с задачами сегментации и распознавания на изображениях МО. Пример серого масштабируемого изображения (рис. 5) используется для сегментации и распознавания МО с использованием операторов Соболя, Прюитт и Кэнни. На рисунке приведены изображения, полученные выделением контуров вышеперечисленными операторами с предварительным сегментированием.

Выводы. В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1) перед применением морфологических преобразований к изображению необходима его предварительная обработка. Это включает формирование диапазона яркости в RGB-палитре и последующую бинаризацию;



Исходное изображение



Промежуточное изображение



Результат закрытия

a



Исходное изображение



Промежуточное изображение



Результат открытия

b

Рис. 4. Применение алгоритмов закрытия и открытия
Fig. 4. Application of closing and opening algorithm



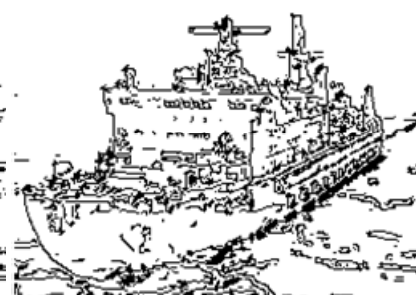
Исходное изображение



a



b



в

Рис. 5. Выделение контуров операторами: *a* – Соболя, *б* – Приютта, *в* – Кэнни
Fig. 5. Selection of contours by operators: *a* – Sobol, *b* – Prewitt, *в* – Canny

2) предложенные алгоритмы морфологических операций улучшают качество сегментации, учитывая форму, размер и структуру объектов. Они позволяют удалять шумы, разрывать связи между объектами, удалять малые элементы и заполнять небольшие дырки на изображении;

3) комбинирование различных морфологических операций в зависимости от особенностей изображения и требований задачи сегментации – это важные факторы для достижения наилучших результатов и повышения точности распознавания объектов на изображениях.

Заключение. Следует отметить, что предложенные алгоритмы представляют собой эффективные инструменты и демонстрируют увеличение точности распознавания морских судов в среднем на 15 % по сравнению известными методами распознавания на основе метода Виолы–Джонса на

вейвлетах Хаара [7] и на 12 % по сравнению с методом распознавания по опорным точкам [8].

Предложенные алгоритмы отличаются высокой скоростью и простотой реализации, что делает их эффективными инструментами для быстрой сегментации объектов на изображениях. Более того, данные алгоритмы также обладают способностью эффективно удалять шумы на изображении, что позволяет повысить качество сегментации и улучшить результаты обработки. Эти преимущества делают алгоритмы привлекательными для широкого спектра приложений – таких, как обнаружение кораблей в системах наблюдения акваториями и контроль судоходства в целях обеспечения безопасности. Также они имеют огромный потенциал для внедрения в области компьютерного зрения.

Список литературы

1. Felski A., Zwolak K. The ocean-going autonomous ship-challenges and threats // J. of Marine Sci. and Engin. 2020. Vol. 8, no. 1. P. 41.
2. Noel A., Shreyanka K., Gowtham K. Autonomous ship navigation methods: a review // Proc. of the Conf. Proc. of ICMET OMAN. Muscat, Oman, November, 2019. P. 99–132.
3. Фахми Ш. С., Королев О. А., Бородина О. В. Новый алгоритм обнаружения и выделения морских объектов от фона в системах наблюдения // Морские интеллектуальные технологии. 2021. № 3–1 (57). С. 256–264.
4. Efficient object detection model for real-time UAV application / V. Subrahmanyam, K. Dongyoun, K. Chandan, A. S. Shafqat // Comput. and Inform. Sci. № 14(1). URL: <https://arxiv.org/pdf/1906.00786.pdf> (дата обращения 15.03.2023).
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
6. Методы, алгоритмы кодирования и классификация изображений морских судов / Ш. С. Фахми, Я. А. Селиверстов, Н. В. Шаталова, М. С. Крюкова, Я. А. Хасан, А. М. М. Исмаил, К. Е. Ковалёв // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 3–1 (45). С. 145–155.
7. Viola P., Jones M. J. Robust real-time face detection // Int. J. Comput. Vis. 2004. Vol. 57. P. 137–154.
8. Видеосистема обнаружения морских судов по триангуляционным решеткам / Ш. С. Фахми, Е. В. Костикова, М. С. Крюкова, С. А. Селиверстов // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 3–1 (41). С. 143–155.

Информация об авторах

Фахми Шакиб Субхиевич – д-р техн. наук, профессор кафедры САПР, доцент СПбГЭТУ «ЛЭТИ». E-mail: shakeebf@mail.ru

Пономарев Никита Алексеевич – студент гр. 9309 СПбГЭТУ «ЛЭТИ». E-mail: samos.gik@mail.ru

Хо Минь Туан Миневич – студент гр. 9309 СПбГЭТУ «ЛЭТИ». E-mail: tuaniman5@gmail.com

References

1. Felski A., Zwolak K. The ocean-going autonomous ship-challenges and threats // J. of Marine Sci. and Engin. 2020. Vol. 8, no. 1. P. 41.
2. Noel A., Shreyanka K., Gowtham K. Autonomous ship navigation methods: a review // Proc. of the Conf. Proc. of ICMET OMAN. Muscat, Oman, November, 2019. P. 99–132.
3. Fahmi Sh. S., Korolev O. A., Borodina O. V. Novyj algoritm obnaruzhenija i vydelenija morskih ob#ektov ot fona v sistemah nabljudenija // Morskie intellektual'nye tehnologii. 2021. № 3–1 (57). S. 256–264. (In Russ.).
4. Efficient object detection model for real-time UAV application / V. Subrahmanyam, K. Dongyoun, K. Chandan, A. S. Shafqat // Comput. and Inform. Sci. № 14(1).

URL: <https://arxiv.org/pdf/1906.00786.pdf> (дата обращения 15.03.2023).

5. Gonsales R., Vuds R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. M.: Tehnosfera, 2005. 1072 s. (In Russ.).

6. Metody, algoritmy kodirovaniya i klassifikacija izobrazhenij morskikh sudov / Sh. S. Fahmi, Ja. A. Seliverstov, N. V. Shatalova, M. S. Krjukova, Ja. A. Hasan,

A. M. M. Ismail, K. E. Kovaljov // Morskie intellektual'nye tehnologii. 2019. № 3-1 (45). S. 145–155. (In Russ.).

7. Viola P., Jones M. J. Robust real-time face detection // Int. J. Comput. Vis. 2004. Vol. 57. P. 137–154.

8. Videosistema obnaruzhenija morskikh sudov po trianguljacionnym reshjotkam / Sh. S. Fahmi, E. V. Kostiova, M. S. Krjukova, S. A. Seliverstov // Morskie intellektual'nye tehnologii. 2018. № 3-1 (41). S. 143–155. (In Russ.).

Information about the authors

Shakeeb S. Fahmi – Dr Sci. (Eng.), Professor of the CAD Department, Associate Professor of Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: shakeebf@mail.ru

Nikita A. Ponomarev – student of gr. 9309 of Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: samos.gik@mail.ru

Minh M. T. Ho – student of gr. 9309 of Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: tuaniman5@gmail.com

Статья поступила в редакцию 29.05.2023; принята к публикации после рецензирования 22.06.2023; опубликована онлайн 19.10.2023.

Submitted 29.05.2023; accepted 22.06.2023; published online 19.10.2023.
