

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION SYSTEM AND TECHNOLOGIES**

УДК 621.396

DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-2-0-1

Черноморец Д.А.
Болгова Е.В.
Черноморец А.А.
Петина М.А.

**ОБ ОЦЕНИВАНИИ РАЗМЕРОВ ИНФОРМАТИВНЫХ
ФРАГМЕНТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ МОРСКОЙ
ПОВЕРХНОСТИ**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: chernomorets_d@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе предложено решение одной из задач, возникающих при построении современных систем безопасности движения в морских акваториях, а именно, оценивание размеров информативных фрагментов на изображении, которые представляется целесообразным использовать при обнаружении посторонних объектов на изображении морской поверхности. Оценивание размеров информативных фрагментов предложено осуществлять на основании вычисления среднего расстояния между контурами видимых на изображении элементов волн, такими как их гребни, впадины и др. Контурные данные элементов волн определяются на основе оператора Кэнни. Оценивание размеров информативных фрагментов выполняется вдоль столбцов и строк анализируемого изображения. Проведены вычислительные эксперименты, иллюстрирующие работоспособность разработанного алгоритма. Полученные оценки размеров информативных фрагментов изображений морской поверхности представляется целесообразным применять при их анализе, в частности, при решении задач обнаружения посторонних объектов на изображениях морской поверхности.

Ключевые слова: изображение морской поверхности; оператор Кэнни; контуры видимых на изображении элементов волн; расстояние между контурами

Для цитирования: Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А., Петина М.А. Об оценивании размеров информативных фрагментов на изображениях морской поверхности // Научный результат. Информационные технологии. – Т.9, №2, 2024. – С. 3-11. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-2-0-1

Chernomorets D.A.
Bolgova E.V.
Chernomorets A.A.
Petina M.A.

**ON ESTIMATING THE SIZE OF INFORMATIVE FRAGMENTS
IN THE SEA SURFACE IMAGES**

Belgorod State National Research University,
85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: chernomorets_d@bsu.edu.ru

Abstract

The paper proposes a solution to one of the problems arising in the construction of modern traffic safety systems in marine areas, namely, estimating the size of informative fragments in the image, which it seems advisable to use when detecting foreign objects on the sea surface image. It is proposed to estimate the size of informative fragments based on calculating the average distance

between the contours of the wave elements visible in the image, such as their crests, depressions, etc. The contours of these wave elements are determined based on the Canny operator. The estimation of the sizes of informative fragments is performed along the columns and rows of the analyzed image. Computational experiments have been carried out to illustrate the developed algorithm efficiency. The obtained estimates of the sizes of informative fragments of sea surface images seem appropriate to use in their analysis, in particular, when solving problems of detecting foreign objects on sea surface images.

Keywords: sea surface image; Canny operator; contours of the wave elements visible in the image; distance between contours

For citation: Chernomoret D.A., Bolgova E.V., Chernomoret A.A., Petina M.A. On estimating the size of informative fragments in the sea surface images // Research result. Information technologies. – Т.9, №2, 2024. – P. 3-11. DOI: 10.18413/2518-1092-2024-9-2-0-1

ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение посторонних объектов на морской поверхности, препятствующих безопасному прохождению судов, на основе компьютерного анализа изображений является важной задачей при построении современных систем управления движением в морских акваториях. Уровень развития компьютерных средств обеспечивает в настоящее время развитие концепции Е-навигации и нового поколения навигационных средств (спутниковые системы позиционирования, системы автоматизированной прокладки и др.), в которых наряду с данными аэро- космосъемки анализируются данные визуального контроля морской поверхности [1-10]. При этом важным является учет появления случайных препятствий в виде маломерных судов, плавающего мусора, нефтяных пятен и др. [11-14].

Многие существующие методы обнаружения посторонних объектов на изображениях морской поверхности основаны на анализе фрагментов, на которые изображения разбиваются [15-20]. При разработке методов обнаружения объектов важным является обоснованный выбор размеров анализируемых фрагментов изображений, обеспечивающих эффективное решение задачи обнаружения с низкими вероятностями ошибок 1 и 2 рода (вероятности «ложного обнаружения» и «пропуска объекта») при проверке статистической гипотезы об отсутствии посторонних объектов на изображении морской поверхности. В работе такие фрагменты названы информативными.

В работе [15] на основе результатов вычислительных экспериментов было проиллюстрировано, что для достижения минимальных значений вероятности ошибки 1 рода при максимально возможных значениях вероятности ошибки 2 рода при решении задачи обнаружения посторонних объектов на морской поверхности целесообразно анализировать фрагменты изображения, размеры которых не менее длины волны.

В данной работе предлагается выбор размеров информативных фрагментов осуществлять на основе оценивания длины полуволны на изображении вдоль его столбцов и строк, исходя из учета расстояний между видимыми на изображении гребнями и впадинами волн, а также другими элементами волн на изображении морской поверхности. Оценивание этих расстояний предлагается осуществлять на основании результатов применения оператора Кэнни [21]. Отметим, что в операторе Кэнни используется многоступенчатый оптимальный алгоритм для обнаружения широкого спектра границ (контуров объектов) на изображениях, при этом позволяющий получить линии границы, толщиной один пиксель.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Предположим, что получаемые с помощью оператора Кэнни линии контуров на изображении морской поверхности проходят, в основном, по гребням и впадинам волн. Тогда, на основании результатов применения оператора Кэнни представляется возможным оценить среднюю длину полуволны вдоль столбцов и строк изображения морской поверхности, а, следовательно, и размеры информативных фрагментов, следующим образом.

1. Пусть задано изображение морской поверхности I_0 (например, на рисунке 1).



Рис. 1. Пример изображения морской поверхности для оценивания размеров информативных фрагментов

Fig. 1. Example of the sea surface image for estimating the informative fragments size

2. К изображению I_0 применяется оператор Канни для определения контуров различных элементов волн и посторонних объектов (если они присутствуют на изображении).

В результате получено двоичное изображение I_1 , в котором пиксели, соответствующие выделенным контурам, имеют значение 1 (пример изображения I_1 приведен на рисунке 2, пиксели границ отмечены черным цветом).

3. Задается прямоугольная область анализа (изображение) I_2 , размерности $N_1 \times N_2$ пикселей, на двоичном изображении I_1 , с целью ограничения выделения области на изображении, содержащем пиксели морской поверхности (например, белый прямоугольник на рисунке 1 и черный прямоугольник на рисунке 2). Будем считать, что на границе изображения I_2 расположены единичные пиксели.

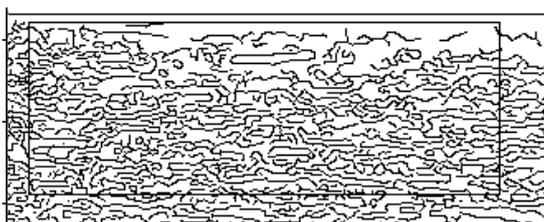


Рис. 2. Пример результатов применения оператора Кэнни (прямоугольником отмечена заданная область анализа I_2)

Fig. 2. Example of the Canny operator results (the rectangle marks the specified analysis area I_2)

4. На двоичном изображении I_2 выбирается очередной столбец i_2 , $i_2 = 1, 2, \dots, N_2$. Если проанализированы все столбцы изображения I_2 , то перейти к шагу 8.

5. Перемещаясь вдоль столбца i_2 двоичного изображения I_2 , определяется расстояние d_1 (количество нулевых пикселей) между очередной парой единичных пикселей, последовательно расположенных в столбце i_2 .

6. Увеличивается на единицу значение $T_1(d_1)$ (начальное значение элемента $T_1(d_1)$ равно нулю). Выполняется переход к шагу 5 до тех пор, пока не будут проанализированы все пары единичных пикселей столбца i_2 .

7. Выполняется переход к шагу 4.

8. Нормируются значения элементов вектора $T_1(k_1)$, $k_1 = 1, 2, \dots, \max(d_1)$:

$$T_1^*(k_1) = T_1(k_1) / \sum_{j=1}^{\max(d_1)} T_1(j), \quad k_1 = 1, 2, \dots, \max(d_1).$$

На рисунке 3 приведена диаграмма, на которой в качестве примера показаны значения элементов вектора $T_1^*(k_1)$, $k_1 = 1, 2, \dots, \max(d_1)$, вычисленные для столбцов изображения на рисунке 2.

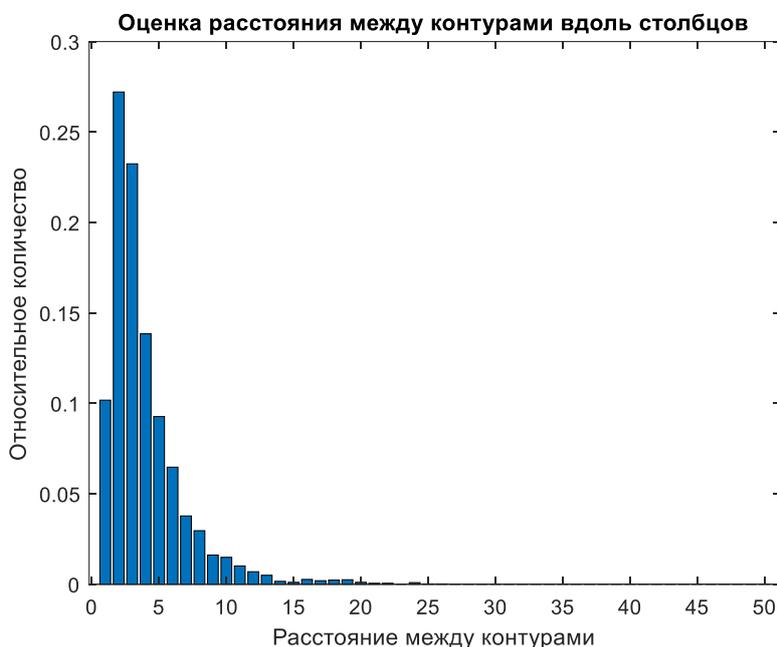


Рис. 3. Диаграмма для оценивания длин полуволн вдоль столбцов (значения вектора T_1^*)

Fig. 3. Diagram for estimating half-wave lengths along columns (values of vector T_1^*)

9. На двоичном изображении I_2 выбирается очередная строка i_1 , $i_1 = 1, 2, \dots, N_1$. Если проанализированы все строки изображения I_2 , то перейти к шагу 13.

10. Перемещаясь вдоль строки i_1 двоичного изображения I_2 , определяется расстояние d_2 (количество нулевых пикселей) между очередной парой единичных пикселей, последовательно расположенных в строке i_1 .

11. Увеличивается на единицу значение $T_2(d_2)$ (начальное значение элемента $T_2(d_2)$ равно нулю). Выполняется переход к шагу 10, до тех пор, пока не будут проанализированы все пары единичных пикселей строки i_1 .

12. Выполняется переход к шагу 9.

13. Нормируются значения элементов вектора $T_2(k_2)$, $k_2 = 1, 2, \dots, \max(d_2)$:

$$T_2^*(k_2) = T_2(k_2) / \sum_{j=1}^{\max(d_2)} T_2(j), \quad k_2 = 1, 2, \dots, \max(d_2).$$

На рисунке 4 приведена диаграмма, на которой в качестве примера показаны значения элементов вектора $T_2^*(k_2)$, $k_2 = 1, 2, \dots, \max(d_2)$, вычисленные для строк изображения на рисунке 2. Для повышения наглядности на диаграмме (рисунок 4) в последнем столбце объединены значения элементов вектора T_2^* с номерами более 50.

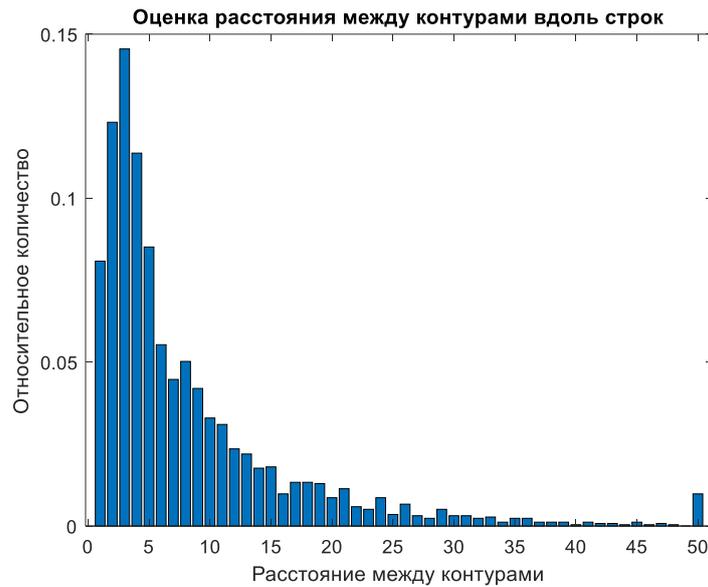


Рис. 4. Диаграмма для оценивания длин полуволн вдоль строк (значения вектора T_2^*)

Fig. 4. Diagram for estimating half-wave lengths along lines (values of vector T_2^*)

14. Определяются оценки L_1 и L_2 длин полуволн на изображении морской поверхности вдоль столбцов и строк:

$$L_1 = 1 + \arg \max_{k_1=1,2,\dots,\max(d_1)} T_1^*(k_1),$$

$$L_2 = 1 + \arg \max_{k_2=1,2,\dots,\max(d_2)} T_2^*(k_2).$$

Результаты, приведенные на рисунках 3 и 4, показывают, что оценки длин полуволн вдоль столбцов и строк для изображения морской поверхности (рисунок 1) имеют следующие значения:

$$L_1 = 3, \quad L_2 = 4.$$

15. Размеры информативных фрагментов представляется целесообразным задавать не менее чем в 2 раза больше оценок длин полуволн вдоль столбцов и строк изображения. Следовательно, для изображения, приведенного на рисунке 1, оценки M_1 и M_2 размеров информативных фрагментов имеют следующие значения:

$$M_1 = 6, \quad V_2 = 8.$$

Следует отметить, что полученные оценки M_1 и M_2 размеров информативных фрагментов на изображении морской поверхности вдоль столбцов и строк могут быть использованы при выборе размеров фрагментов изображения, применяемых при его анализе.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Для проверки работоспособности разработанного алгоритма оценивании размеров информативных фрагментов на изображении морской поверхности были проведены вычислительные эксперименты на основании анализа изображения, приведенного на рисунке 5а. Результат построения контуров на данном изображении, полученные на основе применения оператора Кэнни, приведены на рисунке 5б. На рисунках 5в и 5г приведены диаграммы, позволяющие оценить преобладающее расстояние вдоль столбцов и строк изображения между контурами гребней, впадин и других видимых на изображении элементов волн.

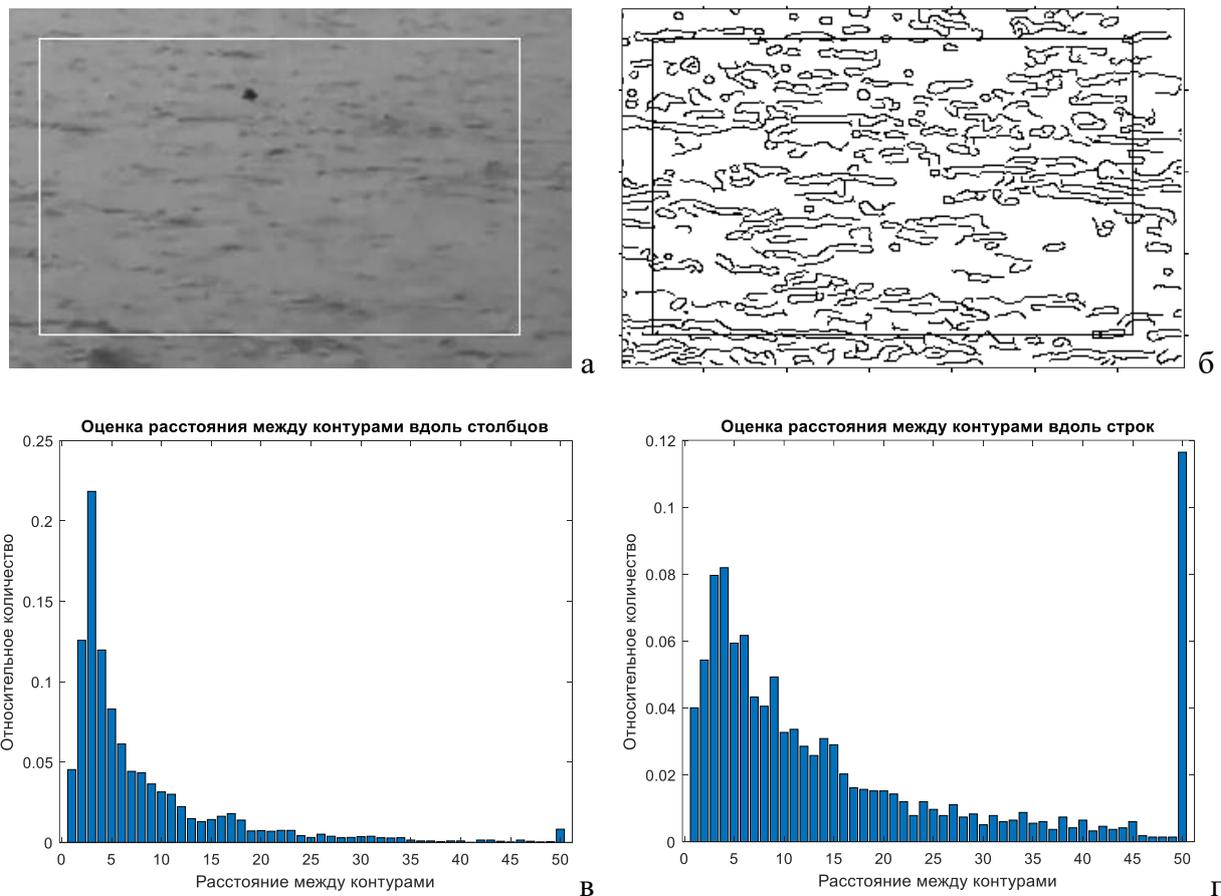


Рис. 5. Пример получения оценок L_1 и L_2 длин полуволн: а – область анализа, б – результат применения оператора Канны, в – диаграмма для оценивания длин полуволн вдоль столбцов, г – гистограмма для оценивания длин полуволн вдоль строк

Fig. 5. Example of obtaining the half-wave lengths estimates L_1 and L_2 : а – area of analysis, б – result of applying the Canny operator, в – diagram for estimating half-wave lengths along columns, г – histogram for estimating half-wave lengths along rows

Результаты, приведенные на рисунках 5в и 5г, иллюстрируют, что на основании разработанного алгоритма оценки L_1 и L_2 длин полуволн имеют следующие значения (пиксели):

$$L_1 = 4, \quad L_2 = 5,$$

и, соответственно, оценки M_1 и M_2 размеров информативных фрагментов на изображении морской поверхности, приведенном на рисунке 5а, имеют следующие значения (пиксели):

$$M_1 = 8, \quad M_2 = 10,$$

что соответствует визуально наблюдаемым на изображении значениям анализируемых характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе предложен алгоритм оценивания расстояний между видимыми на изображении элементами волн, такие как их гребни, впадины и др. Данный алгоритм позволяет получить оценку длины полуволны, а также оценку размеров информативных фрагментов изображений морской поверхности, которые целесообразно применять при их анализе, в частности, при решении задач обнаружения посторонних объектов на изображениях морской поверхности.

Список литературы

1. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 (МППСС-72). – М.: РКонсульт, 2004. – 80 с.
2. Алексеев А. А. Конфигурация управляющего комплекса в вариации мультиагентной системы потока судов в концепции развития Е-навигации // Транспортное дело России. – 2020. – № 4. – С. 197-200.
3. Лентарёв А.А. Основы теории управления движением судов. Владивосток: Морской государственный университет; 2018. – 181 с.
4. Коноплёв, М.А. Применение аппарата нечеткой логики для определения уровня опасности столкновения / М.А. Коноплёв // Эксплуатация морского транспорта. – 2009. – №2. – С. 34-39.
5. Бурьлин Я. В., Попов А. Н. Авторулевой безэкипажного судна // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 3 (92). – С. 41–45.
6. Некрасов С.Н., Леденёв Н.И. Комплексный ситуационный подход к оценке навигационной безопасности плавания // Навигация и гидрография. – 2019. – № 55. – С. 34-42.
7. Коренев А.С., Хабаров С.П., Шпекторов А.Г. Формирование траекторий движения безэкипажного судна. Морские интеллектуальные технологии. 2021; 54 (4-1): 158-165. DOI: 10.37220/MIT.2021.54.4.047.
8. Гриняк В.М., Иваненко Ю.С., Люлько В.И., Шуленина А.В., Щурыгин А.В. Цифровое представление и комплексная оценка навигационной безопасности движения на морских акваториях. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020;8(1). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.003.
9. Tam, Ch.K., Bucknall, R., Greig, A. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters // Journal of Navigation. – 2009. – Vol. 62. – №3. – P. 455-476.
10. Zhu X., Xu H., Lin J. Domain and its model based on neural networks // Journal of Navigation. – 2001. – Vol. 54. – P. 97–103.
11. Бондур, В.Г. Мониторинг загрязнений черного моря по данным космических радиолокационных съёмки [Текст] / В.Г. Бондур, Н.В. Евтушенко, В.В. Замшин, Е.Р. Матросова // Моря России: наука, безопасность, ресурсы. Севастополь. – 03-07 октября 2017. – С. 193-199.
12. Zhao L., Shi G. Maritime anomaly detection using density-based clustering and recurrent neural network. Journal of Navigation. 2019;72(4):894–916. DOI: 10.1017/S0373463319000031
13. Zhen R., Jin Y., Hu Q., Shao Zh., Niktakos N. Maritime anomaly detection within coastal waters based on vessel trajectory clustering and naïve Bayes classifier. Journal of Navigation. 2017; 70(3): 648–670. DOI: 10.1017/S0373463316000850.
14. Pallotta G., Vespe M., Bryan K. Vessel pattern knowledge discovery from AIS data: a framework for anomaly detection and route prediction. Entropy. 2013; 15: 2218–2245. DOI: 10.3390/e15062218.
15. Жилияков Е.Г., Черноморец Д.А., 2023. Об обнаружении на оптических изображениях поверхности морской акватории посторонних объектов. Экономика. Информатика. 50(1): 219-230. DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-1-219-23016.
16. Тупиков, В.А. Способ автоматического обнаружения объектов на морской поверхности в видимом диапазоне [Текст] / В.А. Тупиков, В.А. Павлова, В.А. Александров, В.А. Бондаренко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – №11-3. – С. 105-121.
17. Скороход, Б.А. Автоматическое обнаружение и автосопровождение Объектов на морской поверхности при сложном фоне с помощью видеокамеры [Текст] / Б.А. Скороход, А.В. Стаценко, С.И. Фатеев // Интеллектуальные системы, управление и мехатроника. Материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов – 2017. – С. 152-156.
18. Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А. О влиянии размеров фрагментов изображений морской поверхности на результаты обнаружения объектов // В сборнике: Научные исследования и разработки 2023: естественные и технические науки. сборник материалов XVII-ой международной очно-заочной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 40-42.
19. Ursol D.V., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A. Objects Detection Based On The Sea Surface Video Fragments Cross-Correlation // Research Result. Information Technologies. 2022. Т. 7. № 2. С. 19-27.
20. Sauvola, J., Seppanen, T., Naapakoski, S., Pietikainen, M. Adaptive Document Binarization. 4th Int. Conf. On Document Analysis and Recognition, Ulm, Germany, 1997, pp.147-152.
21. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, NO. 6, November 1986.

References

1. International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972 (COLREG-72). – М.: RConsult, 2004. – 80 p.
2. Alekseev A. A. Configuration of the control complex in a variation of the multi-agent ship flow system in the concept of E-navigation development // Transport business of Russia. – 2020. – No. 4. – P. 197–200.
3. Lentarev A.A. Fundamentals of the theory of ship traffic control. Vladivostok: Maritime State University; 2018. – 181 p.
4. Konoplev, M.A. Application of fuzzy logic apparatus to determine the level of collision danger / M.A. Konoplyov // Operation of marine transport. – 2009. – No. 2. – pp. 34-39.
5. Burylin Ya. V., Popov A. N. Autopilot of an unmanned vessel // Operation of marine transport. – 2019. – No. 3 (92). – pp. 41–45.
6. Nekrasov S.N., Ledenev N.I. An integrated situational approach to assessing navigational safety // Navigation and hydrography. – 2019. – No. 55. – P. 34–42.
7. Korenev A.S., Khabarov S.P., Shpektorov A.G. Formation of motion trajectories of an unmanned vessel. Marine intelligent technologies. 2021; 54 (4-1): 158– 165. DOI: 10.37220/MIT.2021.54.4.047.
8. Grinyak V.M., Ivanenko Yu.S., Lyulko V.I., Shulenina A.V., Shchurygin A.V. Digital representation and comprehensive assessment of navigational safety in marine areas. Modeling, optimization and information technology. 2020;8(1). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.28.1.003.
9. Tam, Ch.K., Bucknall, R., Greig, A. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters // Journal of Navigation. – 2009. – Vol. 62. – №3. – P. 455-476.
10. Zhu X., Xu H., Lin J. Domain and its model based on neural networks // Journal of Navigation. – 2001. – Vol. 54. – P. 97–103.
11. Bondur, V.G. Monitoring of Black Sea pollution based on space radar data [Text] / V.G. Bondur, N.V. Evtushenko, V.V. Zamshin, E.R. Matrosova // Seas of Russia: science, safety, resources. Sevastopol. – October 03–07, 2017. – pp. 193-199.
12. Zhao L., Shi G. Maritime anomaly detection using density-based clustering and recurrent neural network. Journal of Navigation. 2019;72(4):894–916. DOI: 10.1017/S0373463319000031
13. Zhen R., Jin Y., Hu Q., Shao Zh., Niktakos N. Maritime anomaly detection within coastal waters based on vessel trajectory clustering and naïve Bayes classifier. Journal of Navigation. 2017; 70(3): 648–670. DOI: 10.1017/S0373463316000850.
14. Pallotta G., Vespe M., Bryan K. Vessel pattern knowledge discovery from AIS data: a framework for anomaly detection and route prediction. Entropy. 2013; 15: 2218–2245. DOI: 10.3390/e15062218.
15. Zhilyakov E.G., Chernomorets D.A., 2023. On the Detection of Extraneous Objects In Sea Surface Optical Images. Economics. Information technologies. 50(1): 219-230 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2023-50-1-219-230
16. Tupikov, V.A. Method for automatic detection of objects on the sea surface in the visible range [Text] / V.A. Tupikov, V.A. Pavlova, V.A. Alexandrov, V.A. Bondarenko // News of Tula State University. Technical science. – 2016. – No. 11-3. – pp. 105-121.
17. Skorokhod, B.A. Automatic detection and auto-tracking of Objects on the sea surface against a complex background using a video camera [Text] / B.A. Skorokhod, A.V. Statsenko, S.I. Fateev // Intelligent systems, control and mechatronics. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students – 2017. – P. 152-156.
18. Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A. On the influence of the sizes of sea surface image fragments on the results of object detection // In the collection: Scientific research and development 2023: natural and technical sciences. collection of materials of the XVIIIth international internal-correspondence scientific and practical conference. Moscow, 2023. pp. 40-42. Ursol D.V., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A. Objects Detection Based On The Sea Surface Video Fragments Cross-Correlation // Research Result. Information Technologies. 2022. T. 7. № 2. C. 19-27.
20. Sauvola, J., Seppanen, T., Haapakoski, S., Pietikainen, M. Adaptive Document Binarization. 4th Int. Conf. On Document Analysis and Recognition, Ulm, Germany, 1997, pp.147-152.
21. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection. IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, NO. 6, November 1986.

Черноморец Дарья Андреевна, аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Черноморец Андрей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Петина Мария Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Chernomorets Darya Andreevna, postgraduate student of the Department of Information and Telecommunications Systems

Bolgova Evgeniya Vitalievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Chernomorets Andrey Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Bolgova Evgeniya Vitalievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Petina Maria Aleksandrovna, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies