УДК 621.397

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, Д.А. ЧЕРНОМОРЕЦ, Е.В. БОЛГОВА, А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ

E.G. ZHILYAKOV, D.A. CHERNOMORETS, E.V. BOLGOVA, A.A. CHERNOMORETS

**ОБ ОБНАРУЖЕНИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ПРИЗНАКОВ ОТЛИЧИЙ СВОЙСТВ ЕЁ МАЛЫХ ФРАГМЕНТОВ В ЛОКАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ**

**ON THE DETECTION OF SMALL-SIZED OBJECTS ON THE SEA SURFACE BASED ON THE DIFFERENCES SIGNS IN THE PROPERTIES OF ITS SMALL FRAGMENTS IN THE LOCAL AREA**

В работе предложен метод вычисления признаков локального отличия фрагментов изображений морской поверхности при применении различных статистических характеристик: среднее арифметическое, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, медиана. На основании результатов проведенных вычислительных экспериментов с модельными объектами показано, что значения признаков локального отличия фрагментов могут быть применены для решения задачи обнаружения посторонних для морской поверхности объектов.

Ключевые слова: изображение морской поверхности, фрагмент изображения, признак локального отличия, обнаружение объектов, модельный объект

In the paper we propose a method for calculating the local difference signs of the sea surface images fragments using various statistical characteristics: arithmetic mean, standard deviation, variation coefficient, median. Based on the results of computational experiments using model objects, it is shown that the values of the fragments local difference signs can be used to solve the problem of detecting extraneous objects for the sea surface.

Keywords: sea surface image, image fragment, local difference sign, object detection, model object

Методы обнаружения посторонних объектов на морской поверхности является важным компонентом информационных систем обеспечения безопасного движения судов [1, 2]. В настоящее время известно значительное количество различных методов обнаружения объектов [3-8]. Однако большинство существующих методов обнаружения объектов ориентированы на обработку последовательности кадров видеозаписи морской поверхности, а также, в основном, на обнаружение объектов достаточно значительных размеров.

В данной работе предложен подход обнаружения посторонних малоразмерных объектов на отдельном изображении взволнованной морской поверхности на основе признака локального отличия статистических характеристик заданных фрагментов анализируемого изображения по сравнению со статистическими характеристиками их «соседних» фрагментов.

Сформулируем понятие признака локального отличия заданного фрагмента изображения от соседних фрагментов.

Представим анализируемое изображение в виде матрицы , размерности , значений его пикселей.

Обозначим, , , , – анализируемый (центральный) фрагмент, размерности  пикселей, полюс которого расположен на исходном изображении  в пикселе с индексами , , . Полюсом фрагмента в данной работе предлагается считать пиксель, расположенный в центре данного фрагмента.

Соседними фрагментами , , , , изображения для данного фрагмента назовем  фрагментов (в данном исследовании ), аналогичной размерности  пикселей, которые расположены относительно фрагмента  так как показано на рисунке 1.

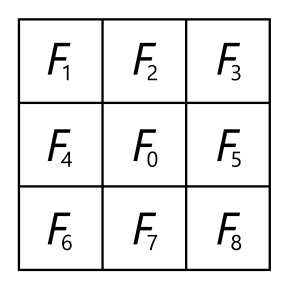


Рисунок 1 – Анализируемый фрагмент  и соседние фрагменты , 

В качестве статистической характеристики, на основании которой оценивается значение признака локального отличия центрального фрагмента от соседних фрагментов, в работе предлагается применять одну из следующих статистических характеристик:

- среднее арифметическое значений пикселей фрагментов,

, , (1)

- среднеквадратическое отклонение значений пикселей фрагментов,

, , (2)

- коэффициент вариации значений пикселей фрагментов,

, , (3)

- медиана , , значений пикселей фрагментов,

, , (4)

где  – функция вычисления медианного значения пикселей фрагмента  и др.

Обозначим,  – значение одной из приведенных выше статистических характеристик (1-4) для анализируемого (центрального) фрагмента ; , , – значения той же статистической характеристики для соседних фрагментов , .

Для соседних фрагментов вычислим обобщенное значение  заданной статистической характеристики , , соседних фрагментов:

. (5)

Признаком локального отличия заданного фрагмента , полюс которого расположен на изображении в пикселе с индексами , , , от соседних фрагментов предлагается считать абсолютное значение разности выбранной его статистической характеристики  и обобщенного значения  статистических характеристик его соседних фрагментов:

, , . (6)

В данной статье для оценивания возможности применения значений признака локального отличия (6) фрагмента изображения от соседних фрагментов для обнаружения малоразмерных объектов на взволнованной морской поверхности проведены следующие вычислительные эксперименты.

Для проведения вычислительных экспериментов на анализируемом изображении И1 (изображение получено из открытых источников Интернет) задана область обучения (рисунок 2), содержащая  различных центральных фрагментов размерности 4×4 пикселей ().



Рисунок 2 – Область обучения на изображении И1

В области обучения для каждого фрагмента , , ( – количество фрагментов, анализируемых в области обучения), размерности  пикселей, вычислены различные статистические характеристики  и соответствующие обобщенные значения  (5) заданной статистической характеристики его соседних фрагментов, а также значение соответствующего признака локального отличия ,

, . (7)

При выборе каждого центрального фрагмента , , также созданы модельные объекты , , , , размерности  пикселей, элементы которых вычислены на основании следующих соотношений:

, , , , (8)

где , , , – нормально распределенная случайная величина с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, ,  – среднее арифметическое и среднеквадратическое отклонение значений пикселей области обучения, ,  – коэффициенты, применяемые в модели объекта для изменения значений среднего арифметического и среднеквадратического отклонения значений пикселей модельного объекта относительно значений ,  области обучения. Значения коэффициентов ,  выбирались таким образом, чтобы выполнялось следующее соотношение:

,

в этом случае вероятность отрицательных значений пикселей модельного объекта ничтожно мала.

Отметим, что в заданной на рисунке 2 области обучения, величины ,  имеют следующие значения:

, .

Для модельных объектов , , вида (8) вычислены признаки локального отличия  относительно фрагментов, которые являются «соседними» для соответствующего центрального , ,

, , (9)

где  – значение заданной статистической характеристики модельного объекта .

На основании множеств  (7) и  (9), , значений признаков локального отличия центральных фрагментов в области обучения и модельных объектов от соответствующих соседних фрагментов вычислены максимальное и минимальное значения:

, (10)

, (11)

В данной работе для оценивания работоспособности похода к решению задачи обнаружения малоразмерных объектов на взволнованной морской поверхности на основе анализа значений признака локального отличия (6) фрагмента изображения от соседних фрагментов сформулирована нулевая проверяемая гипотеза, в которой предполагается, что пиксели анализируемого фрагмента изображения не содержат пиксели посторонних для морской поверхности предметов.

Оценку вероятности ошибок первого рода  предлагается вычислить как отношение количества  значений признака локального отличия  (7), которые больше минимального значения  (11), к объему выборки :

, ,

. (12)

Оценка вероятности ошибок второго рода  в проведенных в данной работе вычислительных экспериментах принята равной ,

,

что соответствует случаю, когда граница критической области определяется минимальным значением  (11).

В ходе проведения вычислительных экспериментов вычисление величин (11), (12) при анализе  центральных фрагментов выполнялось по =100 раз при заданных значениях коэффициентов ,  и других параметрах вычислений. Обобщающая величина  значений признаков локального отличия модельных объектов от соответствующих соседних фрагментов в области обучения, полученная на основании величин  вида (11), , при проведении  вычислительных экспериментов при заданных значениях параметров, вычислена, используя следующее соотношение:

. (13)

Обобщающая величина  оценки вероятности ошибок первого рода, полученные на основании величин  вида (12), , при проведении  вычислительных экспериментов при заданных значениях параметров, вычислена, используя следующее соотношение:

. (14)

В таблице 1 для всевозможных положений в области обучения (рисунок 2) центрального фрагмента, размерностью 4×4 пикселей, а также соответствующих модельных объектов приведены экстремальные (х5) и обобщающие (х8), (х9) значения признаков локального отличия, соответствующие оценки вероятностей ошибок первого и второго рода для значения коэффициента =1 (пиксели модельных объектов имеют постоянное среднеквадратическое отклонение ) при применении различных статистических характеристик (1-4) и различных значениях коэффициента , влияющего на изменение значений среднего арифметического модельных объектов. При заданных параметрах проведено по 100 вычислительных экспериментов.

Таблица 1 – Значения признаков локального отличия, оценки вероятностей ошибок

первого и второго рода при постоянном среднеквадратическом отклонении пикселей модельных объектов  (=1, размерность фрагментов 4×4)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель\ Статистическая  характеристика | Среднее арифметическое, | Средне-квадратическое отклонение, | Коэффициент вариации, | Медиана, |
| Максимум | 1,544E-02 | 1,147E-02 | 2,205E-02 | 1,533E-02 |
| Оценки | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| Минимум  (=1) | 1,217E-03 | 1,078E-03 | 1,957E-03 | 6,883E-04 |
| Оценки  (=1) | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 |
| Минимум  (=0,95) | 3,266E-03 | 1,078E-03 | 2,181E-03 | 2,080E-03 |
| Оценки  (=0,95) | 0,883 | 0,999 | 0,994 | 0,997 |
| Минимум  (=0,9) | 1,021E-02 | 1,078E-03 | 2,222E-03 | 8,990E-03 |
| Оценки  (=0,9) | 0,034 | 0,999 | 0,994 | 0,09 |
| Минимум  (=0,85) | 1,978E-02 | 1,078E-03 | 2,195E-03 | 1,836E-02 |
| Оценки  (=0,85) | **0,001** | 0,999 | 0,994 | **0,001** |
| Минимум  (=1,05) | 1,211E-03 | 1,078E-03 | 1,870E-03 | 1,330E-03 |
| Оценки  (=1,05) | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,998 |
| Минимум  (=1,1) | 5,275E-03 | 1,078E-03 | 1,901E-03 | 3,992E-03 |
| Оценки  (=1,1) | 0,449 | 0,999 | 0,999 | 0,801 |
| Минимум  (=1,15) | 1,289E-02 | 1,078E-03 | 1,893E-03 | 1,183E-02 |
| Оценки  (=1,15) | 0,012 | 0,999 | 0,999 | 0,025 |
| Минимум  (=1,2) | 2,220E-02 | 1,078E-03 | 1,871E-03 | 2,071E-02 |
| Оценки  (=1,2) | **0,001** | 0,999 | 0,999 | **0,001** |

Результаты, приведенные в таблице 1, показывают, что при незначительных изменениях среднего значения пикселей модельных объектов от среднего значения пикселей области обучения оценка вероятности ошибки первого рода имеет минимальное значение 0,001 (вычислена на основании анализа 1000 фрагментов) при оценке вероятности ошибки второго рода равной 0,001 при применении статистических характеристик «среднее арифметическое» и «медиана».

В таблице 2 для всевозможных положений в области обучения (рисунок 2) центрального фрагмента, размерностью 4×4 пикселей, а также соответствующих модельных объектов приведены экстремальные (10) и обобщающие (13), (14) значения признаков локального отличия, соответствующие оценки вероятностей ошибок первого и второго рода для значения коэффициента =1 (пиксели модельных объектов имеют постоянное среднеарифметическое значение ) при применении различных статистических характеристик (1-4) и различных значениях коэффициента , влияющего на изменение значения среднеквадратического отклонения модельных объектов. При заданных параметрах проведено по 100 вычислительных экспериментов.

Таблица 2 – Значения признаков локального отличия, оценки вероятностей ошибок

первого и второго рода при постоянном среднеарифметическом значении пикселей модельных объектов  (=1, размерность фрагментов 4×4)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель\ Статистическая  характеристика | Среднее арифметическое, | Средне-квадратическое отклонение, | Коэффициент вариации, | Медиана, |
| Максимум | 1,544E-02 | 1,147E-02 | 2,205E-02 | 1,533E-02 |
| Оценки | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| Минимум  (=0,0001) | 1,895E-03 | 2,846E-03 | 5,155E-03 | 1,121E-03 |
| Оценки  (=0,0001) | 0,994 | 0,637 | 0,622 | 0,999 |
| Минимум  (=4,5) | 1,256E-03 | 8,122E-03 | 1,344E-02 | 1,031E-03 |
| Оценки  (=4,5) | 0,999 | 0,01 | 0,017 | 0,999 |
| Минимум  (=5) | 1,223E-03 | 9,650E-03 | 1,585E-02 | 1,028E-03 |
| Оценки  (=5) | 0,999 | 0,004 | 0,009 | 0,999 |
| Минимум  (=5,5) | 1,310E-03 | 1,124E-02 | 1,835E-02 | 1,061E-03 |
| Оценки  (=5,5) | 0,999 | **0,001** | 0,004 | 0,999 |
| Минимум  (=6) | 1,383E-03 | 1,286E-02 | 2,090E-02 | 1,125E-03 |
| Оценки  (=6) | 0,999 | **0,001** | **0,001** | 0,999 |

Результаты, приведенные в таблице 2, показывают, что при увеличении в 5-6 раз значения среднеквадратического отклонения пикселей модельных объектов от значения среднеквадратического отклонения пикселей области обучения оценка вероятности ошибки первого рода имеет минимальное значение 0,001 (вычислена на основании анализа 1000 фрагментов) при оценке вероятности ошибки второго рода равной 0,001 при применении статистических характеристик «среднеквадратического отклонения» и «коэффициент вариации».

Соответствующие вычислительные эксперименты были проведены при других значениях коэффициентов , , которые также показали, что при наличии отличий среднеарифметического и среднеквадратического отклонения значений пикселей модельных объектов от соответствующих статистических характеристик пикселей области обучения, применение признака локального отличия позволяет выделять фрагменты, содержащие посторонние для морской поверхности объекты.

На рисунке 3 приведены примеры использованных при вычислениях для таблицы 1 модельных объектов, которые образованы при различных среднеарифметическом и среднеквадратическом отклонении значений пикселей модельного объекта (данные значения изменялись на основе различных коэффициентов  при =1). На рисунке 3 модельные объекты размещены в левом верхнем углу области обучения.

 а  б  в  г

Рисунок 3 – Примеры модельных объектов 4×4 (в левом верхнем углу области обучения)

при =1: а – при =0,85, б – при =0,95, в – при =1,05, г – при =1,2

На рисунке 4 приведены примеры использованных при вычислениях для таблицы 2 модельных объектов, которые образованы при различных среднеарифметическом и среднеквадратическом отклонении значений пикселей модельного объекта (данные значения изменялись на основе различных коэффициентов  при =1). На рисунке 4 модельные объекты размещены в левом верхнем углу области обучения.

 а  б  в  г

Рисунок 4 – Примеры модельных объектов 4×4 (в левом верхнем углу области обучения)

при =1: а – при =0,0001, б – при =4,5, в – при =5,5, г – при =6

На рисунке 5 приведены примеры графиков, иллюстрирующих вычисление в таблице 1 оценок вероятностей ошибок первого и второго рода; на рисунке приведены графики значений признаков локального отличия для статистической характеристики «среднеарифметическое значение»  при =1 (размерность фрагментов 4×4) и различных значениях коэффициента  для одного из =100 вычислительных экспериментов при заданных параметрах.

а б

в г

Рисунок 5 – Значения признаков локального отличия для статистической характеристики «среднеарифметическое значение» при =1 (размерность фрагментов 4×4):

а, б – при =0,85 (неупорядоченные и упорядоченные значения),

в, г – при =0,95 (неупорядоченные и упорядоченные значения)

Данные, приведенные на рисунках 5б и 5г, показывают, что в соответствующих вычислительных экспериментах оценки вероятности ошибки первого рода имеют значения 0,001 и 0,77.

На рисунке 6 приведены примеры графиков, иллюстрирующих вычисление в таблице 2 оценок вероятностей ошибок первого и второго рода; на рисунке приведены графики значений признаков локального отличия для статистической характеристики «среднеквадратическое отклонение»  при =1 (размерность фрагментов 4×4) и различных значениях коэффициента  для одного из =100 вычислительных экспериментов при заданных параметрах.

а б

в г

Рисунок 6 – Значения признаков локального отличия для статистической характеристики среднеквадратическое отклонение» при =1 (размерность фрагментов 4×4):

а, б – при =0,0001 (неупорядоченные и упорядоченные значения),

в, г – при =5,5 (неупорядоченные и упорядоченные значения)

Данные, приведенные на рисунках 6б и 6г, показывают, что в соответствующих вычислительных экспериментах оценки вероятности ошибки первого рода имеют значения 0,64 и 0,001.

Данные, приведенные на рисунках 5а, 5в, 6а и 6в, показывают, что значения признаков локального отличия для модельных объектов в большинстве случаев превышают соответствующие значения признаков локального отличия для центральных фрагментов, содержащих пиксели морской поверхности в области обучения; данный факт показывает, что значения признаков локального отличия позволяют решать задачу обнаружения посторонних объектов на морской поверхности.

Таким образом, в работе предложен метод вычисления признаков локального отличия фрагментов изображений морской поверхности при применении различных статистических характеристик: среднее арифметическое, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, медиана. На основании результатов проведенных вычислительных экспериментов с модельными объектами получены оценки вероятности ошибок первого и второго рода при проверке статистической гипотезы, в которой предполагается, что пиксели анализируемого фрагмента не содержат пиксели посторонних для морской поверхности предметов. Показано, что значения признаков локального отличия фрагментов могут быть применены для решения задачи обнаружения посторонних для морской поверхности объектов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ковальчук В.В., Бурзун М.С. Информационное обеспечение морских навигационных систем // Техника. Технологии. Инженерия. 2020. № 1(15). С.23-26.

2. Вагущенко, Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении / Л. Л. Вагущенко. Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.

3. Жиляков Е.Г., Черноморец Д.А. Об информативности субполосного анализа потока изображений при обнаружении объектов // В сборнике: Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2020). Сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции. Белгород, 2020. С. 65-68.

4. Погожева М.П., Якушев Е.В., Терский П.Н., Глазов Д.М., Коршенко А.Н., Ханке Г. Методики мониторинга плавающего морского мусора (на примере Баренецева моря) // В сборнике: Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021). Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. 2021. С. 180-183.

5. 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](https://elibrary.ru/contents.asp?id=48901429). 2022. Т. 7. № 2. С. 19-27.

6. Федосов А.Н., Володин А.Н. [Моделирование принятия решения в системах обеспечивающих обнаружения объектов на фоне взволнованной морской поверхности](https://elibrary.ru/item.asp?id=30385037) // В сборнике: Интеллектуальные системы, управление и мехатроника - 2017. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Научный редактор А.Т. Барабанов. 2017. С. 325-332.

7. Тупиков В.А., Павлова В.А., Александров В.А., Бондаренко В.А. Способ автоматического обнаружения объектов на морской поверхности в видимом диапазоне // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 11-3. С. 105-121.

8. Скороход Б.А., Стаценко А.В., Фатеев С.И. Автоматическое обнаружение и автосопровождение объектов на морской поверхности при сложном фоне с помощью видеокамеры // В сборнике: Интеллектуальные системы, управление и мехатроника - 2017. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Научный редактор А.Т. Барабанов. 2017. С. 152-156.

**Жиляков Евгений Георгиевич**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

Тел. (4722) 301300\*2174

**Черноморец Дарья Андреевна**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»), г. Белгород

Аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел. (4722) 301300\*2175

E-mail: chernomorets\_d@bsu.edu.ru

**Болгова Евгения Витальевна**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

Кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: bolgova\_e@bsu.edu.ru

Тел. (4722) 301300\*2166

Черноморец Андрей Алексеевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

E-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

Тел. (4722) 301300\*2166