

Исследование чувствительности векторов признаков, сформированных на основе кратномасштабных преобразований обрабатываемых изображений

Д. В. Васильева 

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

 dolli.dina@mail.ru

Аннотация

Введение. В условиях глобализации транспортировка нефтепродуктов танкерным флотом становится одной из причин возникновения техногенных катастроф в акваториях морей и океанов. В таких условиях важную роль играет экологический мониторинг, обеспечивающий своевременное выявление результатов техногенных катастроф. Указанная задача решается с помощью распознавания образов, полученных с беспилотных летательных аппаратов, предполагающего отбор только того фото- и видеоконтента, на котором запечатлены следы техногенных аварий или результаты их последствий.

Цель работы. Разработка научно-технических подходов, позволяющих еще на предварительном этапе в автоматическом режиме осуществлять селекцию входных данных, поступающих в виде фото- и видеоизображений с беспилотных летательных аппаратов.

Материалы и методы. В теоретической части исследования применяется метод классификации на основе методов теории распознавания образов. В ходе работы применялась математическая обработка и расчет в программе MATLAB. Моделирование проводилось в среде САПР MathCAD.

Результаты. Проведены эксперименты, заключающиеся в выборе базиса формирования дискретного вейвлет-преобразования. Для моделирования были отобраны результаты исследования чувствительности векторов признаков изображений, формируемых на основе различных видов вейвлет-преобразований. Разработана концепция построения изображений в интересах формирования векторов признаков.

Заключение. Предложен подход к формализации изображений в интересах формирования векторов признаков. Обоснована метрика оценки их контрастности. В ходе практической части установлено, что чувствительность системы распознавания, определяемая на основе представления изображений в виде матриц дискретных вейвлет-преобразований, зависит не только от типа материнского вейвлета, но и от значения параметра масштаба.

Ключевые слова: алгоритм распознавания векторов признаков, вейвлет-преобразование сигналов, контрастность признаковых пространств

Для цитирования: Васильева Д. В. Исследование чувствительности векторов признаков, сформированных на основе кратномасштабных преобразований обрабатываемых изображений // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2024. Т. 27, № 3. С. 20–29. doi: 10.32603/1993-8985-2024-27-3-20-29

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Автор выражает благодарность профессору, доктору технических наук С. В. Дворникову за помощь в написании статьи.

Статья поступила в редакцию 05.04.2024; принята к публикации после рецензирования 06.05.2024; опубликована онлайн 28.06.2024

Sensitivity Study of Feature Vectors Formed on the Basis of Multiple Scale Transformations of Processed Images

Dina V. Vasilieva✉

Saint-Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation, St Petersburg, Russia

✉ dolli.dina@mail.ru

Abstract

Introduction. Under the conditions of globalization, transportation of oil products by tanker fleets becomes one of the causes of man-made disasters in the water areas of seas and oceans. In this context, environmental monitoring acquires particular significance as a tool for ensuring timely detection of negative consequences of man-made disasters. This task is facilitated by recognition of images obtained from unmanned aerial vehicles with selection of those depicting the traces of man-made accidents or their consequences.

Aim. To develop approaches for carrying out automatic selection of input data obtained from unmanned aerial vehicles in the form of photo and video images at the preliminary stage of image recognition.

Materials and methods. The theoretical part of the study employed a classification method based on pattern recognition theory. Mathematical processing and calculation were carried out in the MATLAB environment. Simulation was conducted using the MathCAD environment.

Results. A series of experiments was conducted to select a basis for discrete wavelet transforms. Modeling was conducted using the study results of the sensitivity of the feature vectors of images formed on the basis of different types of wavelet transforms. A concept of image construction for the purposes of feature vector formation was developed.

Conclusion. An approach to the formalization of images for the purposes of feature vector formation is proposed. A metric of their contrast estimation is substantiated. It was established that the sensitivity of a recognition system based on the representation of images in the form of discrete wavelet transform matrices depends not only on the type of the mother wavelet, but also on the value of the scale parameter.

Keywords: algorithm for recognizing feature vectors, wavelet transform of signals, contrast of feature spaces

For citation: Vasilieva D. V. Sensitivity Study of Feature Vectors Formed on the Basis of Multiple Scale Transformations of Processed Images. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2024, vol. 27, no. 3, pp. 20–29. doi: 10.32603/1993-8985-2024-27-3-20-29

Conflict of interest. The author declares no conflicts of interest.

Acknowledgements. The author would like to thank Prof. Dr. S. V. Dvornikov for his help in writing the article.

Submitted 05.04.2024; accepted 06.05.2024; published online 28.06.2024

Введение. Вопросы охраны окружающей среды являются одним из приоритетных направлений среди глобальных проблем, решаемых на государственном уровне. Возрастающие темпы промышленного производства требуют все большего расхода энергоресурсов, основу которых составляют углеводороды [1–3]. В условиях глобализации, когда производственные мощности удалены от мест добычи полезных ископаемых на значительные расстояния, транспортировка нефтепродуктов танкерным флотом становится одной из причин возникновения техногенных катастроф в акваториях морей и океанов. Учитывая, что даже за непредна-

меренное загрязнение окружающей среды транспортные компании несут строгую административную и финансовую ответственность, виновные в техногенных катастрофах стремятся не афишировать результаты аварий [4–6].

В таких условиях важную роль играют организации, занимающиеся экологическим мониторингом, обеспечивающие своевременное выявление результатов техногенных катастроф [7]. Они в интересах своевременного выявления загрязненных нефтепродуктами акваторий активно используют средства космического и воздушного базирования, осуществляющие видовой контроль. Но учитывая, что водная

поверхность занимает значительную часть земной поверхности, объем контролируемых данных экологического мониторинга становится запредельным [8, 9].

В такой ситуации необходима разработка научно-технических подходов, позволяющих еще на предварительном этапе в автоматическом режиме осуществлять селекцию входных данных, поступающих в виде фото- и видеоизображений с беспилотных летательных аппаратов [10, 11].

Один из таких подходов базируется на решении задачи распознавания образов, предполагающей отбор только того фото- и видеоконтента, на котором запечатлены следы техногенных аварий или результаты их последствий [12, 13].

В связи с этим в настоящей статье представлены результаты исследования чувствительности векторов признаков изображений, формируемых на основе различных видов вейвлет-преобразований [14].

Обоснование подхода к решению задачи экологического мониторинга на основе методов теории распознавания образов. В общем случае сущность экологического мониторинга водного пространства сводится к поиску акваторий с разливами нефти [15]. В простейшем случае поток видеоданных поступает на пост управления оператору для принятия решения. Но учитывая огромные просторы водного покрова земного шара, такой подход становится достаточно трудоемким [16].

Альтернативным решением является использование технологий искусственного интеллекта [17]. Но в этом случае необходимо разработать методический аппарат, позволяющий формализовать изображения до уровня, необходимого для принятия решения об обнаружении нефтяных разливов в автоматическом режиме [18].

В таком контексте формализованное изображение должно представлять собой матрицу или вектор числовых значений, сравнение которых с установленными пороговыми значениями позволит принять достоверное решение [19]. Тогда по результатам обучения нейронных сетей посредством выставления соответствующих весовых коэффициентов открывается возможность организации нескольких альтернативных решений, в той или иной мере отражающих возможную ситуацию [20].

Как правило, такой подход предполагает формирование пороговых значений по результатам усреднений многократного анализа изображений с различными альтернативными ситуациями [21]. Таким образом, формализация результатов анализа изображений до уровня представления их в виде измеряемых числовых значений, используемых для последующего обучения системы нейронных сетей, является основополагающим моментом, определяющим эффективность их функционирования.

С учетом рассмотренных обстоятельств целесообразным видится использование подхода к решению рассмотренной задачи с позиций автоматизации процедур обнаружения на обрабатываемом изображении результатов или последствий техногенных катастроф [22].

В частности, предлагается использовать элементы теории распознавания образов, в рамках которой необходимо разработать предложения по формализации изображений до уровня формирования на их основе векторов признаков [16]. Далее из возможных вариантов формализации изображений выбирается вариант, позволяющий сформировать векторы признаков, обеспечивающие наибольшую контрастность, т. е. наилучшую чувствительность системы распознавания [23].

Частная постановка задачи классификации образов. В терминах теории распознавания рассматриваемую задачу можно отнести к задачам автоматической классификации [24], согласно которой принятое решение об отнесении классифицируемого объекта строго относится к одному из альтернативных классов [25]. Очевидно, что в этом случае каждый из альтернативных классов может быть представлен совокупностью признаков, на основе которых формируются векторы признаков, которые в той или иной мере их характеризуют.

В этом случае самым простым решением является создание признакового пространства для распознавания двух альтернативных классов: A_2 – класс изображений, в которых не содержатся результаты последствия разливов нефти; A_1 – класс изображений, которые как раз и отображают результаты последствия разливов нефти [16].

С позиций теории распознавания образов каждый из классов может быть описан своим вектором признаков: ${}^2\mathbf{V}_m$ – вектор признаков, характеризующий класс A_2 ; ${}^1\mathbf{V}_m$ – вектор признаков, характеризующий класс A_1 . Здесь $m = 1, \dots, M$ – текущий параметр, определяющий размерность векторов признаков, где M – размерность признакового пространства [26].

С таких позиций процедуры классификации сводятся к сравнению вектора признаков текущего изображения ${}^0\mathbf{V}_m$ с векторами признаков двух альтернативных классов A_1 и A_2 , в результате которого рассчитывается разность между парами векторов ${}^2\mathbf{V}_m$ и ${}^0\mathbf{V}_m$ и ${}^1\mathbf{V}_m$ и ${}^0\mathbf{V}_m$:

$$d_{01(02)} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |{}^0\mathbf{V}_m - {}^{1(2)}\mathbf{V}_m|,$$

где d_{01} – разность между вектором обрабатываемого изображения ${}^0\mathbf{V}_m$ и вектором ${}^1\mathbf{V}_m$; d_{02} – разность между вектором ${}^0\mathbf{V}_m$ и вектором ${}^2\mathbf{V}_m$.

Тогда, применительно к тематике исследования, алгоритм принятия решения может быть представлен в виде следующего условия оценки знаковой функции:

$$\text{sign}(d_{01} - d_{02}) = \begin{cases} 0 > A_0 \in A_2; \\ 0 \leq A_0 \in A_1. \end{cases} \quad (1)$$

Тогда общий алгоритм классификации, с учетом аналитического расчета значений разности векторов между обрабатываемым изображением и векторами альтернативных классов, может быть представлен следующим образом [27]:

$$d_{01(02)} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |{}^0\mathbf{V}_m - {}^{1(2)}\mathbf{V}_m| \begin{cases} A_0 \in A_2 \\ > \\ A_0 \in A_1 \\ \leq \end{cases} d_{01} \quad (2)$$

Очевидно, что при таком задании алгоритма эффективность правильной классификации будет тем выше, чем лучшую контрастность, т. е. большую разность между векторами признаков, обеспечит выбранный функциональный базис, в котором они формируются, при минимальном

различии между альтернативными классами.

С таких позиций текущую задачу исследования можно определить как поиск базиса декомпозиции изображения, при котором будет обеспечена наибольшая контрастность между векторами признаков, при минимальном различии между классами:

$$F\{\mathbf{V}_m\}_M \max_{\|A_1 - A_2\| \rightarrow \min} |{}^1\mathbf{V}_m - {}^2\mathbf{V}_m|, \quad (3)$$

где $F\{*\}$ – обозначение функционального базиса декомпозиции изображения, который, в соответствии с задачей исследования, будет формироваться на основе различных видов вейвлет-преобразований.

Следует понимать, что в рамках практических приложений формализация изображений должна быть алгоритмически реализуема, а формируемые на ее основе векторы признаков должны обладать достаточно высокой контрастностью. Другими словами, вектор признаков должен обладать высокой чувствительностью к любым изменениям изображения, характеризующим наличие нефтяных разливов на акватории морей и океанов.

Таким образом, происходит не фактическое распознавание изображения, а выявление наличия на нем признаков техногенной катастрофы.

Обоснование выбора базиса декомпозиции изображений. Учитывая, что цифровое цветное изображение с высоким качеством разрешения представляет собой растровую структуру, как правило состоящую из трех пикселей, его формализация приведет к получению трехразмерной матрицы с большим числом коэффициентов. Например, изображение размером 1600×1200 пикселей состоит почти из 2 млн точек.

Очевидно, что непосредственное формирование векторов признаков, например конкатенацией столбцов или строк матрицы изображения, связано с большой размерностью и, как следствие, – со сложностями в последующей обработке.

В связи с этим, учитывая, что задачу обнаружения нефтяных разливов на поверхности воды можно рассматривать с позиций изменения цветового фона изображения, целесообразно перейти к цифровым растровым полутоновым изображениям.

Такие полутонные изображения, в которых глубина цвета кодируется восемью битами, обеспечат возможность каждому пикселю принимать значения яркости в диапазоне от 0 до 255 градаций.

Такой подход позволяет существенно сократить размеры матрицы изображения при небольших потерях в разрешении [15].

Для дальнейшей обработки таких матриц предлагается использовать декоррелирующие вейвлет-преобразования [28]. А поскольку матрица изображения является набором дискретных значений, то, соответственно, дискретное вейвлет-преобразование (ДВП).

Реализация ДВП представляет собой результат свертки входной реализации $x[n]$ и исходного материнского вейвлета $\psi[n]$, определяющего АЧХ фильтра.

Физически реализация ДВП представляет собой одновременную декомпозицию входной реализации посредством высокочастотной фильтрации $h[2n - k]$ для получения детализирующих коэффициентов $y_{в.ч}[n]$ и низкочастотной фильтрации $g[2n - k]$ для формирования аппроксимирующих коэффициентов $y_{н.ч}[n]$:

$$y_{н.ч}[n] = \sum_{k=0}^K x[k]g[2n - k];$$

$$y_{в.ч}[n] = \sum_{k=0}^K x[k]h[2n - k].$$

Заметим, что поскольку высокочастотный и низкочастотный фильтры связаны между собой, то их называют квадратурными зеркальными фильтрами.

В результате реализации ДВП формируется двумерная матрица вейвлет-коэффициентов, отображающих распределение энергии входной реализации в частотно-временном пространстве.

Простейшим ДВП является вейвлет-преобразование Хаара, согласно которому элементы входного массива группируются по 2 и вычисляются их суммы и разности [28]. При этом группировка сумм проводится рекурсивно для образования следующего уровня разложения. В итоге получают 2^{k-1} разностей и одну общую сумму.

Аналитически вейвлет Хаара $\psi_X[n]$ можно представить как

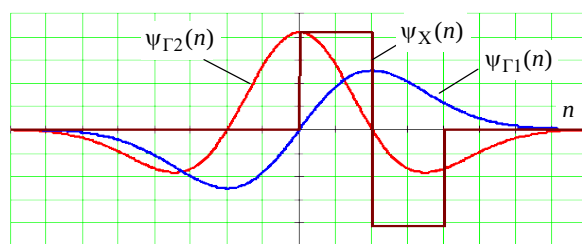


Рис. 1. Временное представление материнских вейвлетов

Fig. 1. Temporal representation of mother wavelets

$$\psi_X[n] = \begin{cases} 1, & 0 \leq n < 1/2; \\ -1, & 1/2 \leq n < 1; \\ 0, & n \notin [0, 1). \end{cases}$$

Учитывая, что на практике широкое применение находят вейвлеты Гаусса, в исследовании были рассмотрены ДВП на основе вейвлетов Гаусса 1-го порядка $\psi_{\Gamma 1}[n]$ и 2-го порядка $\psi_{\Gamma 2}[n]$:

$$\psi_{\Gamma 1}[n] = -n \exp(-n^2/2);$$

$$\psi_{\Gamma 2}[n] = (1 - n^2) \exp(-n^2/2).$$

В качестве примера на рис. 1 показаны временные структуры вейвлетов $\psi_{\Gamma 1}[n]$, $\psi_{\Gamma 2}[n]$ и $\psi_X[n]$.

Выбор данных типов вейвлетов был осуществлен на этапе подготовки к исследованию [16]. В настоящее время известно большое количество различных типов вейвлетов, но их применение в рамках исследования ограничено структурой входных данных, являющихся целочисленными значениями.

В качестве примера на рис. 2 показано изображение водной поверхности (контрольное). В терминах оценок (1) и (2) данное изображение соответствует классу A_2 . На рис. 3 представлена соответствующая ему матрица числовых значений.

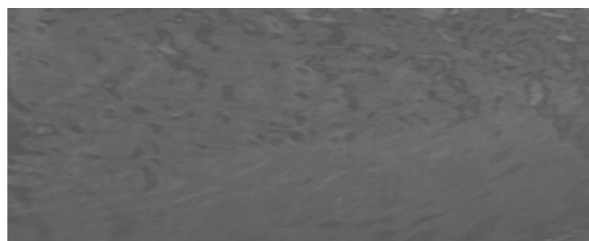


Рис. 2. Изображение водной поверхности (контрольное)

Fig. 2. Water surface image (control)

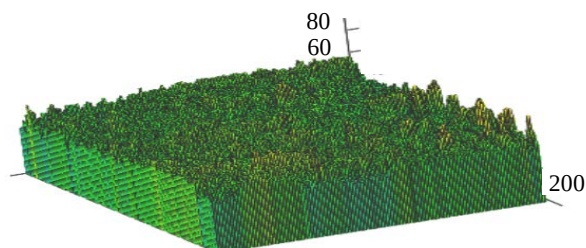


Рис. 3. Матрица данных изображения водной поверхности (контрольное)

Fig. 3. Water surface image data matrix (control)

Именно дискретная структура данных способствовала выбору вейвлета Хаара для формирования ДВП. Вейвлеты Гаусса были выбраны на предварительном этапе исследования как обеспечившие наилучшую аппроксимацию тестовых изображений по показателю средней квадратической ошибки.

Результаты эксперимента. Поскольку целевая установка эксперимента заключалась в выборе базиса формирования ДВП, для моделирования были отобраны 2 изображения водной поверхности: без разлива нефтепродуктов (контрольное) и с разливом нефти (тестовое). Причем размер площади нефтяного пятна на изображении составлял всего 1/16 (6.25 %) от общего значения.

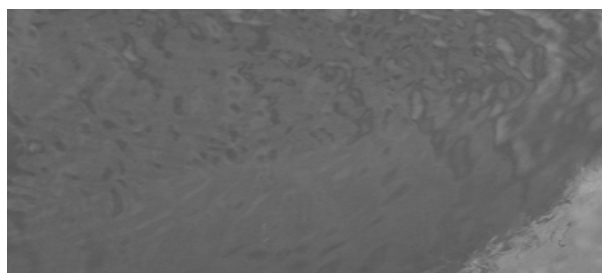


Рис. 4. Изображение водной поверхности (тестовое)

Fig. 4. Image of water surface (test)

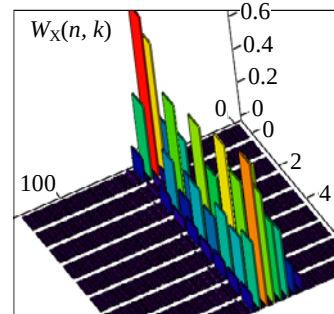
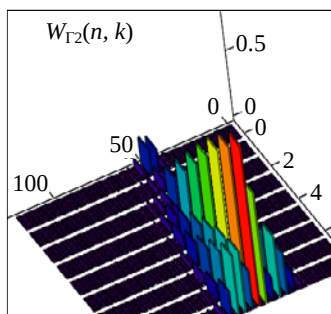
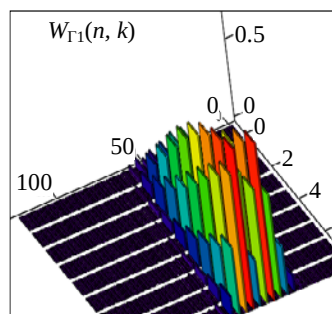


Рис. 6. Матрицы ДВП контрольного изображения

Fig. 6. DWT matrices of the control image

```

vh1 := | A ← N
        for k ∈ 0, E.. R
          for T ∈ 0, 4.. A
            vf_{k,T} ← ⌊ 1 / √(k+1) · ∑_{t=0}^A ( f(t) · h( (t-T) · a / (k+1) ) ) ⌋
          vf ← vf

```

Рис. 5. Листинг программы формирования ДВП

Fig. 5. Listing of the program for DWT formation

На рис. 4 представлено изображение водной поверхности (тестовое), которое в терминах оценок (1) и (2) соответствует классу A_1 .

Моделирование проводилось в среде САПР MathCAD, листинг формирования ДВП представлен на рис. 5.

На рис. 6 показаны матрицы ДВП контрольного изображения, формируемые на основе вейвлетов Хаара $W_X(n, k)$, Гаусса 1-го $W_{Г1}(n, k)$ и 2-го $W_{Г2}(n, k)$ порядков, а на рис. 7 – аналогичные матрицы ДВП для тестового изображения водной поверхности.

Векторы признаков изображений формировались усреднением матриц ДВП по переменной k (переменная сдвига).

В качестве примера на рис. 8 показаны векторы признаков контрольного изображения, формируемые на основе вейвлетов Хаара $V_X(k)$, Гаусса 1-го $V_{Г1}(k)$ и 2-го $V_{Г2}(k)$ порядков.

В ходе моделирования рассчитывалась мощность ошибки.

Выбор базиса декомпозиции осуществлялся в соответствии с условием (3). При этом в эксперименте в качестве регулирующего параметра рассматривалась переменная n .

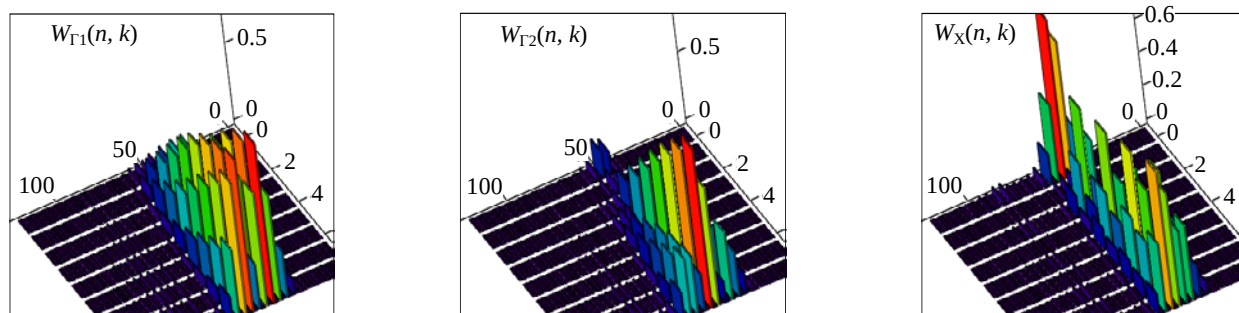


Рис. 7. Матрицы ДВП тестового изображения

Fig. 7. DWT matrices of the test image

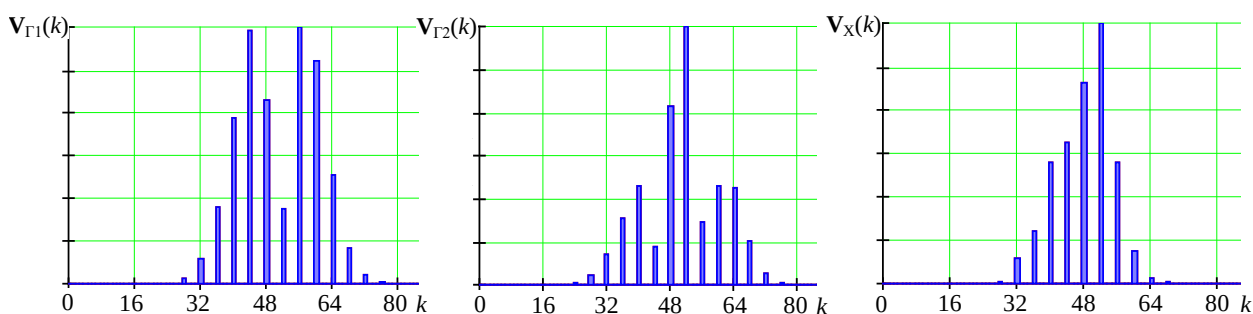


Рис. 8. Векторы признаков контрольного изображения

Fig. 8. Feature vectors of the control image

Результаты оценки мощности ошибки между векторами признаков контрольного и тестового изображений для различных типов ДВП

Results of error power estimation between feature vectors of the control and test images for different DWT types

Вейвлет	Значение параметра масштаба k							
	4	8	12	16	20	24	28	32
Δ_x	0.309	0.426	0.379	0.353	0.354	0.36	0.402	0.4
$\Delta_{Г1}$	0.453	0.343	0.353	0.467	0.653	0.743	0.927	1.004
$\Delta_{Г2}$	0.374	0.31	0.255	0.277	0.306	0.389	0.479	0.579

В таблице представлены результаты оценки мощности ошибки между векторами признаков контрольного и тестового изображений, полученными из ДВП на основе вейвлетов Хаара Δ_x , Гаусса 1-го $\Delta_{Г1}$ и 2-го $\Delta_{Г2}$ порядков.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. Для значений параметра масштаба $k = 8$ и 12 предпочтительным видится выбор для декомпозиции изображений вейвлета Хаара. При других значениях данного параметра наибольшую контрастность между векторами признаков контрольного и тестового изображений обеспечивает вейвлет Гаусса 1-го порядка.

Заключение. Результаты проведенного исследования позволяют судить о достижении сформулированной целевой установки.

В теоретической части исследования обоснован подход к решению проблемы обнаружения разливов нефти в акватории морей и океанов с позиций задачи классификации на основе методов теории распознавания образов [16]. Получены условия принятия решения об обнаружении последствий техногенных катастроф по результатам обработки изображений. Предложен подход к формализации изображений в интересах формирования векторов признаков. Обоснована метрика оценки их контрастности.

В ходе практической части установлено, что чувствительность системы распознавания, определяемая на основе представления изображений в виде матриц ДВП, зависит не только от типа материнского вейвлета, но и от значения параметра масштаба.

Так, при значениях параметра масштаба 8 и

12 наилучшую контрастность векторов признаков обеспечивает вейвлет Хаара, в остальных случаях – вейвлет Гаусса 1-го порядка.

Дальнейшие исследования будут связаны с разработкой алгоритма автоматической классификации при обнаружении нефтяных разливов на обрабатываемых изображениях.

Список литературы

1. Автоматизация процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки видео / Д. В. Васильева, С. В. Дворников, С. А. Якушенко, С. С. Дворников // Науч.-аналитич. журн. "Вестник Санкт-Петербургского ун-та ГПС МЧС России". 2023. № 4. С. 47–58. doi: 10.61260/2218-130X-2024-2023-4-47-58
2. Мелентьев В. В., Мателенок И. В., Смирнова А. С. Визуализация радиолокационных сигнатур морского льда для контроля обстановки в арктических акваториях // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 2(52). С. 18–26. doi: 10.33075/2220-5861-2023-2-18-26
3. Князев Н. А., Лаврова О. Ю. Спутниковый мониторинг распространения нефтяного загрязнения вдоль Сирийского побережья, вызванного аварией в городе Банияс 23 августа 2021 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 1. С. 295–301. doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-295-301
4. Корнилов В. Д. Мировой танкерный флот. Морские вести России. 2014. № 13. URL: <https://morvesti.ru/analitika/1692/31948/> (дата обращения 26.02.2024).
5. Алексенко А. И., Касаткина А. С. Вопросы ответственности судовладельца за ущерб от загрязнения нефтепродуктами с морских судов // Вестн. РУДН. Сер. Юр. науки. 2022. Т. 26, № 3. С. 678–694. doi: 10.22363/2313-2337-2022-26-3-678-694
6. Свецкий А. В. Правовая охрана морской среды от разливов нефти и нефтепродуктов // Юр. исследования. 2023. № 3. С. 1–12. doi: 10.25136/2409-7136.2023.3.39944
7. Алексеев Д. В., Лентарев А. А. Статистический анализ разливов нефти и нефтепродуктов на море // Вестн. гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2023. Т. 15, № 6. С. 959–970. doi: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-959-970
8. Баранов А. А., Никитина А. В., Симонина О. А. Исследование возможности использования сетей мобильной связи общего пользования для передачи видеоданных с борта БЛА // Тр. учеб. заведений связи. 2022. Т. 8, № 1. С. 16–26. doi: 10.31854/1813-324X-2022-8-1-16-26
9. Аббасов И. Б. Современные тенденции мониторинга водной среды прибрежных акваторий // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 1. С. 29–39. doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-29-39
10. Zatsepa S. N., Ivchenko V. V., Solbakov A. A. SPILLMOD – a CFD model for information support of marine oil spill response // J. of Oceanological Research. 2022. Vol. 50, № 2. P. 72–105. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).4
11. Егорова К. В., Соколов С. С. Безопасная система мониторинга разливов нефти с использованием беспилотных летательных аппаратов // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2023): XIII Санкт-Петерб. межрегион. конф., Санкт-Петербург, 25–27 окт. 2023 г. / Санкт-Петерб. общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. СПб., 2023. С. 197–198.
12. Смирнов Ю. Д., Добрынин О. С. Разработка беспилотных летательных аппаратов для проведения экологического мониторинга // Зап. Горного ин-та. 2014. Т. 207. С. 213–216.
13. Обнаружение морских дронов в оптическом диапазоне / Д. В. Васильева, С. А. Якушенко, С. С. Дворников, А. А. Погорелов, С. В. Дворников // Морской вестн. 2023. № 4 (88). С. 90–92.
14. Vasilyeva D. V., Dvornikov S. V., Yakushenko S. A., Dvornikov S. S. Automation of detection procedures based on the results of processing images from video surveillance systems // Тез. докл. III Междунар. форума "Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве". Ч. 1 / ГУАП. СПб., 2023.
15. Формирование векторов признаков сигналов из вейвлет-коэффициентов их фреймовых преобразований / С. В. Дворников, Д. В. Степынин, А. С. Дворников, А. П. Букарева // Информационные технологии. 2013. № 5. С. 46–49.
16. Формирование векторов признаков для систем видеонаблюдения / Д. В. Васильева, С. С. Дворников, Ю. Е. Толстуха, П. С. Обрезков, С. В. Дворников // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2023. № 4. С. 62–68.
17. Громов Ю. Ю., Ищук И. Н., Родионов В. В. Применение искусственного интеллекта в задачах обработки данных дистанционного мониторинга // Тр. Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению "Графикон". 2023. № 33. С. 727–735. doi: 10.20948/graphicon-2023-727-735
18. Дворников С. В., Кудрявцев А. М. Теоретические основы частотно-временного анализа кратковременных сигналов / Военная акад. связи. СПб., 2010. 240 с.
19. Синтез фазоманипулированных вейвлет-сигналов / С. В. Дворников, С. С. Манаенко, С. С. Двор-

ников, А. А. Погорелов // Информационные технологии. 2015. Т. 21, № 2. С. 140–143.

20. Obraztsov V., Moqi Sun. Possible Methodological Options for Development of Pattern Recognition Theory // Communications in Computer and Information Science. 2019. Vol. 1055. P. 64–73. doi: 10.1007/978-3-030-35430-5_6

21. Пат. RU 2261476 C1 G06K 9/00. Способ распознавания радиосигналов / В. А. Аладинский, С. В. Дворников, А. М. Сауков, А. Н. Симонов. Опубл. 27.09.2005.

22. Дворников С. В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений энергии стационарных процессов в частотно-временном пространстве (обзор) // Тр. учеб. заведений связи. 2018. Т. 4, № 1. С. 47–60.

23. Нгуен Чонг Н., Подстригаев А. С. Распознавание сигналов в автокорреляционном приемнике // Вестн. связи. 2022. № 5. С. 36–40.

24. Дворников, С. В., Дворников С. С., Спирин А. М. Синтез манипулированных сигналов на основе

вейвлет-функций // Информационные технологии. 2013. № 12. С. 52–55.

25. Васильева Д. В., Дворников С. В., Дворников С. С. Обоснование технических требований к РЛС обнаружения // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2023. № 4. С. 97–104.

26. Способ сжатия графических файлов / С. В. Дворников, А. А. Устинов, И. Н. Оков, А. Б. Царелунго, М. О. Дворовой, В. В. Цветков // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2017. № 4. С. 77–86.

27. Дворников С. В., Сауков А. М. Метод распознавания радиосигналов на основе вейвлет-пакетов // Науч. приборостроение. 2004. Т. 14, № 1. С. 85–93.

28. Дворников С. В., Дворников С. С., Марков Е. В. Модифицированные импульсные последовательности на основе кодов Баркера // Тр. учеб. заведений связи. 2022. Т. 8, № 1. С. 8–14. doi: 10.31854/1813-324X-2022-8-1-8-14

Информация об авторе

Васильева Дина Владимировна – инженер по специальности "Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов" (2004, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)), старший преподаватель кафедры радиотехнических систем Института радиотехники и инфокоммуникационных технологий Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Автор 15 научных работ. Сфера научных интересов – цифровая обработка сигналов.

Адрес: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, д. 67, Санкт-Петербург, 190000, Россия

E-mail: dolli.dina@mail.ru

<http://orcid.org/0009-0009-5343-3356>

References

1. Vasilieva D. V., Dvornikov S. V., Yakushenko S. A., Dvornikov S. S. Automation of Forest Fire Detection Procedures Based on the Results of Video Processing. Scientific and Analytical J. "Vestnik Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia". 2023, no. 4, pp. 47–58. (In Russ.) doi: 10.61260/2218-130X-2024-2023-4-47-58

2. Melentyev V. V., Matelenok I. V., Smirnova A. S. Visualization of Radar Signatures of Sea Ice for Monitoring the Situation in Arctic Waters. Environmental Control Systems. 2023, no. 2(52), pp. 18–26. doi: 10.33075/2220-5861-2023-2-18-26

3. Knyazev N. A., Lavrova O. Yu. Satellite Monitoring of Oil Pollution Spread along the Syrian Coast Caused by the Accident in the City of Baniyas on August 23, 2021. Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space. 2022, vol. 19, no. 1, pp. 295–301. doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-295-301

4. Kornilov V. D. World Tanker Fleet. Marine News of Russia. 2014, no. 13. Available at: <https://morvesti.ru/analitika/1692/31948/> (accessed 26.02.2024)

5. Aleksenko A. I., Kasatkina A. S. Issues of the Shipowner's Liability for Damage Caused by Oil Pollution from Sea-Going Vessels. RUDN J. of Law. 2022, vol. 26, no. 3, pp. 678–694. doi: 10.22363/2313-2337-2022-26-3-678-694

6. Svetsky A. V. Legal Protection of the Marine Environment from Oil and Oil Product Spills. Legal Studies. 2023, no. 3, pp. 1–12. doi: 10.25136/2409-7136.2023.3.39944

7. Alekseev D. V., Lentarev A. A. Statistical Analysis of Oil and Oil Product Spills at Sea. *Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo I Rechnogo Flota Imeni Admirala S. O. Makarova*. 2023, vol. 15, no. 6, pp. 959–970. doi: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-959-970

8. Baranov A. A., Nikitina V. V., Simonina O. A. Mobile Communication Networks for Video Data Transmission from UAV. Proc. of Educational Institutions of Communication. 2022, vol. 8, no. 1, pp. 16–26. doi: 10.31854/1813-324X-2022-8-1-16-26

9. Abbasov I. B. Modern Trends of Monitoring the Water Environment of Coastal Areas. Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. 2019, no. 1, pp. 29–39. doi: 10.22449/2413-5577-2019-1-29-39

10. Zatsapa S. N., Ivchenko V. V., Solbakov A. A. SPILLMOD – a CFD Model for Information Support of Marine Oil Spill Response. J. of Oceanological Research. 2022, vol. 50, no. 2, pp. 72–105. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(2).4

11. Egorova K. V., Sokolov S. S. Safe System for Oil Spill Monitoring Using Unmanned Aerial Vehicles. Information security of Russian regions (IBRR-2023):

XIII St Petersburg Interregional Conf., St Petersburg, 25–27 Oct. 2023. St Petersburg Society of Informatics, Computer Science, Communication and Control Systems. St Petersburg, 2023, pp. 197–198.

12. Smirnov Yu. D., Dobrynin O. C. Development of Unmanned Aerial Vehicles for Environmental Monitoring. Notes of the Mining Institute. 2014, vol. 207, pp. 213–216. (In Russ.)

13. Vasil'eva D. V., Yakushenko S. A., Dvornikov S. S., Pogorelov A. A., Dvornikov S. V. Detection of Sea Drones in the Optical Range. *Morskoy Vestnik*. 2023, no. 4 (88), pp. 90–92. (In Russ.)

14. Vasilyeva D. V., Dvornikov S. V., Yakushenko S. A., Dvornikov S. S. Automation of Detection Procedures Based on the Results of Processing Images from Video Surveillance Systems. Collection of Abstracts of Reports of the III Intern. Forum "Mathematical Methods and Models in High-Tech Production". Ch. 1. St Petersburg, GUAP, 2023.

15. Dvornikov S. V., Step'nin D. V., Dvornikov A. S., Bukareva A. P. Formatoin of Vectors Signs Signals from Wavelet-Coefficients of their Frame Transforms. *Information Technologies*. 2013, no. 5, pp. 46–49. (In Russ.)

16. Vasilyeva D. V., Dvornikov S. S., Tolstukha Yu. E., Obrezkov P. S., Dvornikov S. V. Formation of Feature Vectors for Video Surveillance Systems. *Voprosy radioelectroniki*. Series: Television Technics. 2023, no. 4, pp. 62–68. (In Russ.)

17. Gromov Yu. Yu., Ischuk I. N.; Rodionov V. V. Application of Artificial Intelligence in the Tasks of Remote Monitoring Data Processing. Proc. of the Intern. Conf. on Computer Graphics and Vision "Graphicon". 2023, no. 33, pp. 727–735. doi: 10.20948/graphicon-2023-727-735. (In Russ.)

18. Dvornikov S. V., Kudryavtsev A. M. Theoretical Bases of Frequency-Time Analysis of Short-Time Signals. St Petersburg Military Academy of Communications. 2010, 240 p. (In Russ.)

19. Dvornikov S. V., Manaenko S. S., Dvornikov S. S., Pogorelov A. A. Synthesis PSK Wavelet-Signal. *Information Technologies*. 2015, vol. 21, no. 2, pp. 140–143. (In Russ.)

20. Obraztsov V., Moqi Sun. Possible Methodological Options for Development of Pattern Recognition Theory. *Communications in Computer and Information Science*. 2019, vol. 1055, pp. 64–73. doi: 10.1007/978-3-030-35430-5_6

21. RU Pat. 2261476 C1 G06K 9/00. Aladinsky V. A., Dvornikov S. V., Saukov A. M., Simonov A. N. Method for Recognizing Radio Signals. Publ. 27.09.2005. (In Russ.)

22. Dvornikov S. V. Theoretical Foundations of the Synthesis of Bilinear Energy Distributions of Nonstationary Processes in the Frequencytemporary Space (review). *Proc. of Educational Institutions of Communication*. 2018, vol. 4, no. 1, pp. 47–60. (In Russ.)

23. Nguyen Chong N., Podstrigaev A. C. Signal Recognition in Autocorrelation Receiver. *Communications Bulletin*. 2022, no. 5, pp. 36–40. (In Russ.)

24. Dvornikov, S. V., Dvornikov S. S., Spirin A. M. Syntheses of Manipulated Signals on the Base of Wavelet-Functions. *Information Technologies*. 2013, no. 12, pp. 52–55. (In Russ.)

25. Vasilieva D. V., Dvornikov S. V., Dvornikov S. S. Justification of Technical Requirements for Detection Radar. *Voprosy radioelectroniki*. Series: Television Technics. 2023, no. 4, pp. 97–104. (In Russ.)

26. Dvornikov S. V., Ustinov A. A., Okov I. N., Tsarelungo A. B., Dvorovoi M. O., Tsvetkov V. V. Compression of Graphic Files through the Risez Procedure. *Voprosy radioelectroniki*. Series: Technics of television. 2017, no. 4, pp. 77–86.

27. Dvornikov S. V., Saukov A. M. Signal Identification Method Based on Wavelet-Packets. *Nauchnoe Pribo-rostroenie*. 2004, vol. 14, no. 1, pp. 85–93. (In Russ.)

28. Dvornikov S., Dvornikov S., Markov E. Modified Pulse Sequences Based on Barker Codes. *Proc. of Telecommunication Universities*. 2022, vol. 8, no. 1, pp. 8–14. doi: 10.31854/1813-324X-2022-8-1-8-14

Information about the author

Dina V. Vasilieva, Engineer in chemical technology of refractory non-metallic and silicate materials (2004, St Petersburg State Technical University (TI), senior lecturer at the Department of Radio Engineering of Institute of Radio Engineering and Infocommunication Technologies of Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. The author of 15 scientific publications. Area of expertise: digital signal processing.

Address: Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67 A, Bolshaya Morskaya St., St Petersburg 190000, Russia

E-mail: dolli.dina@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0009-5343-3356>