

Обоснование структуры форматов изображений для решения задач распознавания образов при экологическом мониторинге

Д. В. Васильева^{1✉}, С. В. Дворников^{1,2}, С. С. Дворников^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

² Военная академия связи, Санкт-Петербург, Россия

✉ dolli.dina@mail.ru

Аннотация

Введение. В настоящее время важнейшей задачей является экологический мониторинг акваторий морей и океанов и своевременное выявление на поверхности воды результатов техногенных катастроф, в том числе обнаружение загрязнения нефтепродуктами. Для эффективного выполнения данной задачи проводится контроль над акваториями морей и океанов с использованием средств космического и воздушного базирования. Однако из-за того, что водная поверхность занимает большую часть общей площади планеты, объем подлежащих контролю данных становится запредельно большим. Данная проблема решается с помощью отбора только тех фото- и видеоматериалов, на которых обнаружены следы разливов нефтепродуктов и других техногенных катастроф.

Цель работы. Разработка научно-технического подхода, позволяющего автоматически осуществлять выборку изображений, полученных с систем видового контроля, предоставляя только актуальные изображения.

Материалы и методы. В теоретической части исследования применяется метод классификации на основе методов теории распознавания образов. Сравнивалось тестовое изображение, на котором присутствует разлив нефтепродуктов на поверхности Черного моря, с этим же изображением, представленным в формате BMP с разными кодировками глубины цвета, а также с этим же изображением, представленным в формате JPEG. В ходе работы использовалась ЭВМ для обработки растровых изображений. Моделирование проводилось в среде САПР MathCAD.

Результаты. Для подтверждения результата проведен эксперимент с 200 изображениями. В результате визуального анализа можно заключить, что наиболее близко к тестовому изображению изображение в формате JPEG, на котором приведенная граница позволяет четко выделить зону разлива нефтепродуктов.

Заключение. По результатам эксперимента с различными форматами файлов растровых изображений в качестве исходных данных представляется необходимым использовать изображения, полученные с помощью систем визуального контроля, представленные в формате JPEG. Сформированы направления дальнейшего исследования.

Ключевые слова: формат файлов, растровые изображения, разлив нефтепродуктов, цифровые матрицы

Для цитирования: Васильева Д. В., Дворников С. В., Дворников С. С. Обоснование структуры форматов изображений для решения задач распознавания образов при экологическом мониторинге // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2024. Т. 27, № 5. С. 118–128. doi: 10.32603/1993-8985-2024-27-5-118-128

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 08.07.2024; принята к публикации после рецензирования 17.09.2024; опубликована онлайн 29.11.2024

Justification of Image Format Structure for Solving Pattern Recognition Problems in Environmental Monitoring

Dina V. Vasilieva^{1✉}, Sergey V. Dvornikov^{1,2}, Sergey S. Dvornikov^{1,2}

¹ Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St Petersburg, Russia

² Military Telecommunications Academy, St Petersburg, Russia

✉ dolli.dina@mail.ru

Abstract

Introduction. Environmental monitoring of marine areas and timely detection of the results of man-made disasters on the water surface, including identification of oil contaminated areas, represents an urgent task. To facilitate its solution, marine areas are controlled using space and airborne means. However, the volume of data subject to control is constantly growing. Therefore, the problem can be solved by selecting only those photo and video materials with detected traces of oil spills and other man-made disasters.

Aim. To develop an approach to automatic selection of images obtained from visual control systems, providing only relevant images.

Materials and methods. The theoretical part of the study was carried out using a classification method based on pattern recognition theory. A test image with an oil spill on the surface of the Black Sea was compared with the same image presented in BMP format with different color depth encodings, as well as with the same image presented in JPEG format. Raster images were processed using a specialized software application. Simulation was carried out in the MathCAD environment.

Results. The developed approach was tested experimentally by processing 200 images. The conducted visual analysis confirmed that the image, where the given boundary allows the area of oil spill to be clearly distinguishes, is the closest to the test image.

Conclusion. According to the results of the experiment with different formats of raster image files, the conclusion is made about the feasibility of using images obtained by visual control systems presented in JPEG format as initial data. Further research directions are outlined.

Keywords: file format, raster images, oil product spill, digital matrices

For citation: Vasilieva D. V., Dvornikov S. V., Dvornikov S. S. Justification of Image Format Structure for Solving Pattern Recognition Problems in Environmental Monitoring. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2024, vol. 27, no. 5, pp. 118–128. doi: 10.32603/1993-8985-2024-27-5-118-128

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

Submitted 08.07.2024; accepted 17.09.2024; published online 29.11.2024

Введение. Одной из первостепенных задач экологического мониторинга является своевременное выявление результатов техногенных катастроф, в том числе обнаружение загрязненных нефтепродуктами акваторий морей и океанов [1]. С этой целью активно используют средства космического и воздушного базирования, осуществляющие видовой контроль над акваториями морей и океанов.

Однако, учитывая, что водная поверхность занимает порядка 70 % общей площади планеты, объем подлежащих контролю данных становится запредельно большим [2]. Поэтому необходима разработка научно-технических подходов, позволяющих в автоматическом режиме осуществлять селекцию входных данных, предоставляя оператору с бортовых систем видовой контроля лишь актуальные изображения [3].

Обоснование структуры форматов изображений

для решения задач распознавания образов при экологическом мониторинге

Justification of Image Format Structure for Solving Pattern Recognition Problems in Environmental Monitoring

Один из таких подходов базируется на решении задачи распознавания образов [4, 5], предполагающей отбор только того фото- и видеоконтента, на котором запечатлены следы техногенных аварий или результаты их последствий [6].

Сложность решения такой задачи обусловлена объемом обрабатываемых данных, представляемых в виде кадров изображений. Поэтому в рамках настоящей статьи представлены результаты анализа форматов файлов растровых изображений и предложения по их использованию в комплексах видового контроля систем экологического мониторинга.

Анализ структуры и параметров форматов данных изображений. Предварительный анализ результатов, представленных в [7], показал, что использование потокового видео для решения задач экологического мониторинга оправданно лишь в том случае, когда видеоряд непосредственно поступает на монитор оператора. Оператор непосредственно по результатам наблюдения принимает решение о наличии или отсутствии разливов нефтепродуктов.

Использование ЭВМ для обработки изображений предполагает необходимость их преобразования в один из форматов изображения. Следовательно, необходимо определиться с выбором формата представления данных обрабатываемого изображения для постов экологического мониторинга.

Согласно [8, 9] под форматом файла изображения понимают "стандартизированные средства организации и хранения цифровых изображений", т. е. любой формат фактически представляет собой файл цифровых данных, характеризующих изображение, с определенными параметрами.

В общем случае изображения могут быть представлены в векторной или растровой форме.

К векторным форматам относят такие форматы изображений, как EPS, PDF, SVG, CDR Век,

AI [10]. Такие форматы содержат геометрическое описание, которое может быть плавно отображено на любом размере дисплея. Векторные форматы, как правило, используются для отображения изображений на экранах мониторов. Среди векторных форматов изображений наибольшее распространение получил формат PDF [10, 11, 14]. Поскольку векторные данные в основном применяются в приложениях графического дизайна и не описывают характеристики каждого пикселя изображения, то их применение в решении задач обнаружения последствий техногенных катастроф видится нецелесообразным.

К форматам файлов растровых изображений относят следующие форматы: GIF, TIFF, PNG, PSD, RAW, BMP, JPEG [8, 14–20]. Главным достоинством растровых изображений является то, что размер их файлов коррелирует не только с общим количеством пикселей изображения, но и глубиной цвета, приходящейся на пиксель.

Так, изображение размером 640×480 пикселей с 24-битным цветом $k_{\text{ц}}$ приводит к формированию файла размером $(V_{\text{ф}}) 640 \times 480 \times 24 = 7\,372\,800$ бит = 921 600 байт.

В то же время при кодировании изображения 4-разрядным кодом получим файл размером всего $640 \times 480 \times 8 = 7\,372\,800$ бит = 153 600 байт, т. е. чем ниже разряд кода, тем меньше размер результирующего файла.

При этом следует учитывать, что количество отображаемых цветов ($N_{\text{ц}}$) на изображении как раз и зависит от глубины цвета ($k_{\text{ц}}$) [19]:

$$N_{\text{ц}} = 2^{k_{\text{ц}}}.$$

Следовательно, чем больше глубина цвета, тем детальней будет отображено изображение совокупностью цифровых данных.

Так, в табл. 1 представлены значения размера файла и количество отображаемых цветов

Табл. 1. Размер файла и количество отображаемых цветов в зависимости от величины кода, определяющего глубины цвета

Tab. 1. File size and number of displayed colors, depending on the value of the code defining color depths

Параметр	Разрядность кода глубины цвета ($k_{\text{ц}}$)					
	4	8	16	24	32	48
$N_{\text{ц}}$	16	256	65 536	16 777 216	4 294 967 296	281 474 976 710 656
$V_{\text{ф}}$, Кбайт	153.6	921.6	1843.2	2764.8	3686.4	5529.6

($N_{\text{ц}}$) в зависимости от величины кода, определяющего глубины цвета ($k_{\text{ц}}$), для изображения размером 640×480 пикселей [21].

Анализ результатов табл. 1 позволяет сделать следующее заключение. Поскольку человеческий глаз теоретически способен различать не более 10 000 000 цветовых градаций [20], то использование разрядности кода свыше $k_{\text{ц}} > 24$ нецелесообразно.

Однако на практике установлено [22], что в среднем для понятия и осознания сущности образа, представленного на изображении, среднестатистический человек осознанно различает не более 150 или 200 оттенков цветов. Лишь при усиленной тренировке можно выработать способность различать до 500 оттенков серого цвета [23]. При этом качество изображения в большей степени зависит не от цветности материала, а от разрешающей способности.

Рассмотрим наиболее важные особенности растровых форматов представления изображений.

Формат GIF (Graphics Interchange Format) [15, 20] предназначен для хранения данных, в которых каждый пиксель имеет размер не более 8 бит, что позволяет отображать изображения посредством 256 различных цветов и оттенков.

В формате GIF предусмотрена компрессия изображений на основе алгоритма сжатия данных без потери качества Лемпеля–Зива–Уэлча (ЛЗУ) [24].

Ввиду ограниченности цветопередачи формат GIF фактически не используется для отображения полноцветных объектов, поскольку формируемые на его основе изображения получают ярко выраженную зернистость.

С учетом рассмотренных особенностей применение формата GIF для представления обрабатываемых изображений в комплексах экологического мониторинга видится нецелесообразным.

Формат TIFF (Tagged Image File Format) [16] обеспечивает представление и хранение данных растровых графических изображений с большой глубиной цветовой гаммы. Качественная цветопередача изображений определила выбор TIFF в качестве основного графического формата для операционной системы NeXTSTEP [25].

Формат TIFF поддерживает режимы представления целочисленных данных, в которых

пиксель представляется 8, 16, 32 и 64 битами. При использовании матриц, в которых значение пикселей представляется числами с плавающей запятой, как правило, кодировка осуществляется 32 или 64 битами.

Несмотря на то что в данном формате компрессия изображений осуществляется на основе метода ЛЗУ, TIFF не поддерживает перспективный алгоритм сжатия, реализованный в стандарте JPEG-LS (Joint Photographic Experts Group – Lossless Compression Standard) [26], который основан на адаптивном предсказании значения текущего пикселя.

В указанном алгоритме для определения значения текущего пикселя используются результаты расчета значений близлежащих пикселей, проведенных ранее, по так называемому методу обнаружения медианного края (англ. Median Edge Detection).

С учетом выявленных фактов формат TIFF не рекомендуется для предоставления изображений в комплексах экологического мониторинга.

Формат PNG (Portable Network Graphics) базируется на применении алгоритма сжатия без потерь Deflate, сочетающего в себе комбинацию тестов LZ77 и Хаффмана [17], хорошо известных по архиваторам семейства ZIP (PKZIP, GZIP, 7-ZIP и др.).

Формат PNG разрабатывался с перспективой замены излишне упрощенного формата представления изображений посредством GIF и слишком сложного для обычного применения формата TIFF [16].

При этом формат PNG ориентирован на поддержку таких получивших широкое практическое применение растровых типов изображений, как:

- полноцветные, в которых глубина цвета кодируется посредством 48 бит;
- индексированные цветные с 8-битовой палитрой градаций;
- полутоновые изображения с глубиной цвета 16 бит.

По отношению к рассмотренным форматам формат PNG обеспечивает наилучшую степень сжатия для изображений с высокой степенью градаций яркости. При этом степень сжатия на 5–25 % превышает обеспечиваемую в формате GIF.

Однако для практики этого достоинства оказалось недостаточно, поскольку для изображе-

ний с относительно небольшой глубиной градаций яркости на уровне, не превышающем 16 бит, формат PNG демонстрирует достаточно посредственные компрессионные свойства.

Формат PSD (Photoshop Document) был создан специально для программы Adobe Photoshop. Поэтому, несмотря на явные достоинства, заключающиеся в возможности сохранения слоев и папок, а также в наличии градаций уровня прозрачности и векторных графических элементов, он не нашел широкого применения в других приложениях, даже при том, что обеспечивает высокую компрессию изображений без потери качества [23].

Следовательно, рассматривать данный формат в качестве инструмента представления и сохранения изображений для решения задач экологического мониторинга нецелесообразно.

Формат RAW (Raw) предназначен для хранения и отображения необработанных данных об электрических сигналах, поступающих с фотоматриц цифровых устройств, в том числе со сканеров и киноплёнок [20]. При этом содержащиеся в формате данные не отображают в явном виде изображения, но содержат всю необходимую информацию для их восстановления.

При этом непосредственно применение RAW-файлов для отображения изображений невозможно ввиду того, что в большинстве современных фотоматриц используют фильтр Байера. Программного обеспечения, позволяющего напрямую редактировать RAW-файлы, пока не существует [20]. Кроме того, форматы RAW отличаются не только у производителей, но их структура различается в зависимости от моделей камер. При этом избыточность формата RAW приводит к созданию файлов большого объема, значительно большего, чем в формате JPEG.

Среди растровых форматов наиболее точно изображение передает *формат BMP* (Bitmap Picture) без использования алгоритмов сжатия. Данный формат сохраняет изображение в виде однослойного раstra, в котором глубина цвета определяется 1, 2, 4, 8, 16, 24, 32, 48 или 64-разрядным кодом. Поэтому параметры формируемых файлов с расширением *.bmp соответствуют данным табл. 1 при соответствующем размере файла.

Вместе с тем на практике широкое распространение получил растровый *формат JPEG*, по-

лучивший свое название по аббревиатуре разработавшей его компании (Joint Photographic Experts Group). Данный формат предусматривает сжатие как без потерь в информации, так и с потерями.

Если алгоритм сжатия без потерь позволяет уменьшить объем данных всего на 10–40 %, то коэффициент сжатия алгоритма с потерями может составлять 100 : 1 [27, 28]. При этом наибольшее распространение получили JPEG-кодеки, в которых глубина цвета изображения представляется 8 битами.

Выбор и обоснование формата для обработки данных изображений разливов нефтепродуктов. В рамках проведенного анализа установлено, что наилучшую передачу изображений обеспечивает формат BMP. Однако формируемые на его основе файлы имеют большие размеры (см. табл. 1), что может создать трудности при их передаче по радиоканалам. Поэтому предпочтение отдано формату JPEG, позволяющему уменьшить объем файлов изображений в 100 раз за счет их сжатия. Так как алгоритмы сжатия приводят к потере информации, содержащейся в изображении, то необходимо провести дополнительный анализ для выявления того, насколько существенны потери в информативности изображений, вызванные их сжатием, для решения задач обнаружения разливов нефтепродуктов.

Для этого необходимо оценить качество изображения с различными значениями параметров представления данных.

Поскольку было установлено, что предельное значение различия цветов человеческим глазом составляет не более 10 000 000, то в качестве эталонного определим изображение формата BMP, в котором глубина цвета кодируется 24 битами. Будем рассматривать тестовое изображение размером 1252×751 пикселей при $k_{\text{ц}} = 24$ (далее по тексту – ТИ-00), на котором фиксируется разлив нефтепродуктов на поверхности Черного моря.

ТИ-00 будем сравнивать с этим же изображением, но представленным в формате BMP при $k_{\text{ц}} = 8$ (далее по тексту – ТИ-01), при $k_{\text{ц}} = 4$ (далее по тексту – ТИ-02), при $k_{\text{ц}} = 2$ (далее по тексту – ТИ-03), а также с этим изображением, представленным в формате JPEG (далее по тексту – ТИ-04).



Рис. 1. Изображение ТИ-00 с разливом нефтепродуктов
Fig. 1. Image of TI-00 with oil product spill

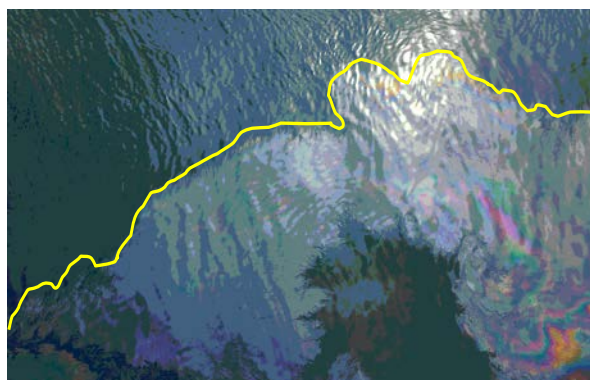


Рис. 2. Изображение ТИ-01 с разливом нефтепродуктов
Fig. 2. Image of TI-01 with oil product spill

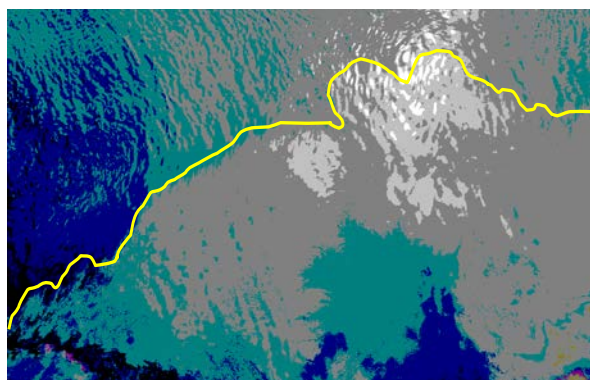


Рис. 3. Изображение ТИ-02 с разливом нефтепродуктов
Fig. 3. Image of TI-02 with oil product spill

Указанные изображения представлены на рис. 1–5. Для наглядности на каждом изображении нанесена граница зоны, позволяющая на основе визуального анализа принять решение: наличие артефактов вызвано разливом нефтепродуктов; наличие артефактов обусловлено различиями в освещенности поверхности моря.

По результатам визуального анализа можно заключить, что наиболее близко к тестовому изображению ТИ-00 только изображение ТИ-04, на котором приведенная граница позволяет

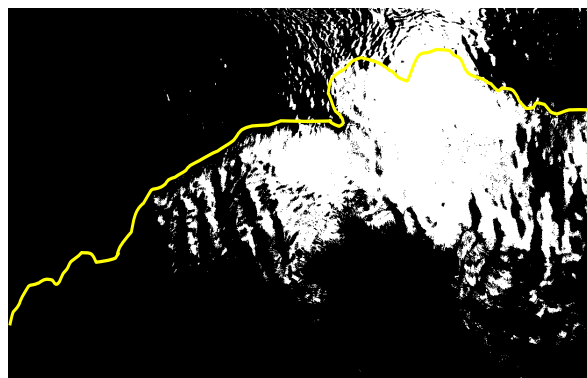


Рис. 4. Изображение ТИ-03 с разливом нефтепродуктов
Fig. 4. Image of TI-03 with oil product spill



Рис. 5. Изображение ТИ-04 с разливом нефтепродуктов
Fig. 5. Image of TI-04 with oil product spill

четко выделить зону разлива нефтепродуктов. На остальных изображениях артефакты, обусловленные различиями в степени освещенности, имеют близкую структуру с артефактами, вызванными разливом нефтепродуктов.

Для подтверждения результата эксперимент был проведен с 200 изображениями. В табл. 2 представлены параметры тестируемых изображений.

Для лучшей наглядности полученных результатов на рис. 6–9 демонстрируются нормированные цифровые матрицы тестовых изображений ТИ-00, ТИ-04, ТИ-03 и ТИ-02.

На представленных трехмерных матрицах, несмотря на то что ось аппликата нормирована к единице, амплитудные различия ее элементов варьируются в пределах градаций яркости.

Следует отметить, что, несмотря на различия форматов представления изображений, все матрицы, изображенные на рис. 6–9, имеют одинаковую размерность 1252×751 , т. е. содержат 940 252 элемента, поскольку выполнены в формате градаций оттенков серого (полутонные изображения).

Табл. 2. Параметры тестируемых изображений

Tab. 2. Parameters of tested images

Параметр	Формат BMP				Формат JPG
$k_{\text{ц}}$	2	4	8	24	24
$N_{\text{ц}}$	16	256	65 536	4 294 967 296	4 294 967 296
$V_{\text{ф}}$, Кбайт	117	460	919	2921	643

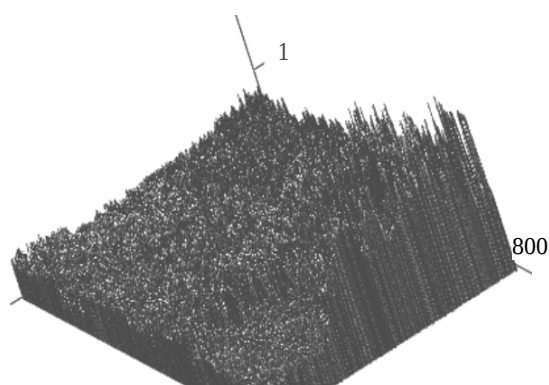


Рис. 6. Цифровая матрица изображения ТИ-00 с разливом нефтепродуктов

Fig. 6. Digital image matrix of TI-00 image with oil product spillage

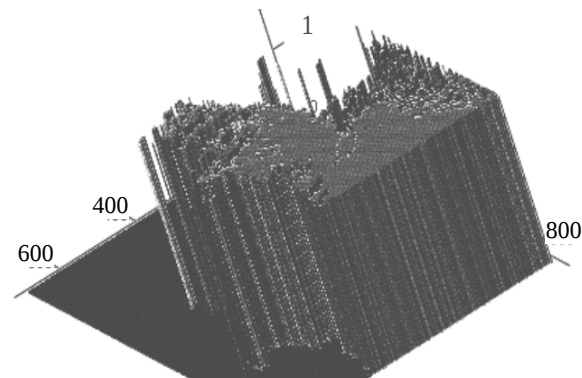


Рис. 8. Цифровая матрица изображения ТИ-03 с разливом нефтепродуктов

Fig. 8. Digital image matrix of TI-03 image with oil product spillage

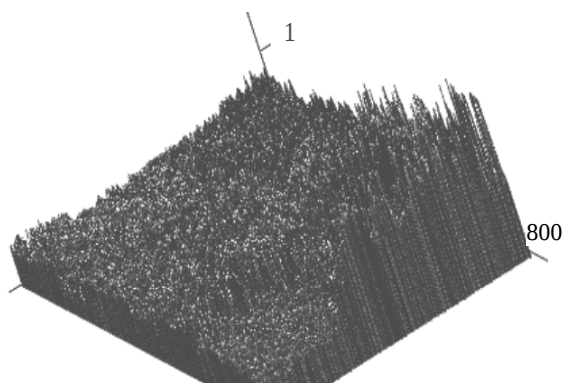


Рис. 7. Цифровая матрица изображения ТИ-04 с разливом нефтепродуктов

Fig. 7. Digital image matrix of TI-04 image with oil product spillage

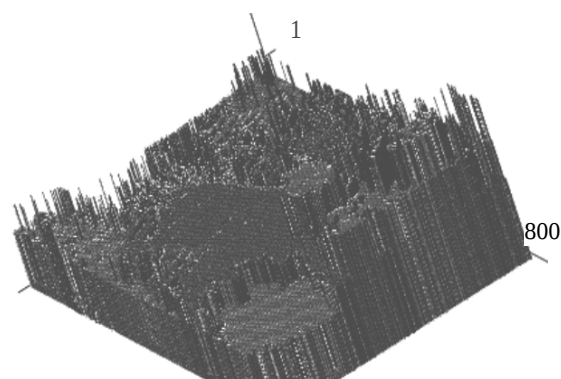


Рис. 9. Цифровая матрица изображения ТИ-02 с разливом нефтепродуктов

Fig. 9. Digital image matrix of TI-02 image with oil product spillage

При этом качество изображения определяется размерностью элементов по оси аппликат (ось амплитудных значений), от которой как раз и зависит объем формируемого файла.

Представленные цифровые матрицы характеризуют уровень и объем данных, подверженных обработке.

Заключение. Следует отметить, что для изображения ТИ-03, которое даже потенциально сложно рассматривать в качестве приемлемого для решения задачи обнаружения разливов нефтепродуктов, объем представляемых данных аналогичен объему, представляемому матрицей на основе формата BMP при $k_{\text{ц}} = 24$.

Различия лишь в дискретности амплитудных значений каждого из 940 252 компонентов матрицы цифровых данных. И если у ТИ-00 каждый отчет имеет 4 294 967 296 амплитудных градаций, то у матрицы ТИ-03 таких градаций всего 16.

Таким образом, анализ результатов табл. 2 и рис. 6–9 обуславливает выбор в качестве исходных данных изображений, получаемых с систем визуального мониторинга, размещенных на летно-подъемных платформах, представленных в формате JPEG.

Формат JPEG, сохраняя структуру данных, характерную для формата BMP, занимает объем чуть более чем в 5 раз превышающий объем

изображения ТИ-03.

Дальнейшие исследования, по мнению авторов, должны быть связаны с разработкой методики, обеспечивающей автоматическое рас-

познавание мест разливов нефтепродуктов. В основу методики будут положены подходы, использованные для построения классификаторов, представленных в [29–33].

Список литературы

1. Свецкий А. В. Правовая охрана морской среды от разливов нефти и нефтепродуктов // Юридические исследования. 2023. № 3. С. 1–12. doi: 10.25136/2409-7136.2023.3.39944.
2. Алексеев Д. В., Лентарев А. А. Статистический анализ разливов нефти и нефтепродуктов на море // Вестн. ГУ морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. 2023. Т. 15, № 6. С. 959–970. doi: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-959-970
3. 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
4. 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.
5. Дворников С. В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений энергии нестационарных процессов в частотно-временном пространстве (обзор) // Тр. учеб. заведений связи. 2018. Т. 4, № 1. С. 47–60.
6. Дворников С. В., Дворников С. С., Васильева Д. В. Автоматизация процедур обнаружения нефтяных разливов на водной поверхности // Информация и космос. 2024. № 1. С. 126–132.
7. Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Аналитическая оценка при решении задач экологического мониторинга с использованием информационных технологий на примере полигона ТБО "Тимохово" // Экология промышленного производства. 2024. № 1(125). С. 38–44. doi: 10.52190/2073-2589_2024_1_38
8. Гусев С. С. Векторизация растровых изображений // Прикладная математика и вопросы управления. 2018. № 4. С. 83–98. doi: 10.15593/2499-9873/2018.4.05
9. Горячкин Б. С., Можаяев Д. В., Андрианов А. А. Сравнительный анализ различных форматов изображения в контексте веб-приложения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. 2023. № 6. С. 83–91. doi: 10.37882/2223-2966.2023.06.11
10. Савко А. А., Акинина Ю. С., Аралов М. Н. Преобразование графических файлов в формат pdf // Науч. опора Воронежской области: сб. тр. победителей конкурса НИР студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж: ВГТУ, 2021. С. 158–163.
11. Сергеев А. В., Хорев П. Б. Обзор и анализ стеганографических методов в документах формата PDF // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. 2020. № 8. С. 382–387.
12. Автоматизированная система векторизации растровых изображений / А. Р. Исмагилов, А. П. Кирпичников, С. А. Ляшева, М. П. Шлеймович // Вестн. Технологического ун-та. 2018. Т. 21, № 9. С. 136–140.
13. Image vectorization: a review / M. O. Dziuba, I. Jarsky, V. Efimova, A. A. Filchenkov // Zap. nauchnyh sem. SPb otdelenija matematicheskogo instituta im. V. A. Steklova RAN. 2023. Vol. 530. P. 6–23.
14. Мерзлякова Е. Ю. Разработка метода встраивания информации в растровые изображения с помощью интерполяции Лагранжа и кривых Безье // Вестн. СибГУТИ. 2023. Т. 17, № 3. С. 12–22. doi: 10.55648/1998-6920-2023-17-3-12-22
15. Босиков Д. Н., Гуфан А. Ю., Елисеев А. С. Метод хрупкой маркировки изображений и анимаций в формате GIF без потерь данных // Телекоммуникации. 2013. № 12. С. 19–28.
16. Анализ организации файловой структуры формата TIFF с точки зрения стеганографического контейнера / С. В. Радаев, В. А. Иванов, А. А. Двилянский, А. А. Адарацкий // Промышленные АСУ и контроллеры. 2017. № 6. С. 40–46.
17. Губницкая Ю. С., Писаревский Н. Я. Проблема использования форматов PNG и JPG, игнорируя технические особенности SVG // Информатика, математическое моделирование, экономика: сб. науч. ст. по итогам Пятой междунар. науч.-практ. конф. 2015. Смоленск: Автономная НОО ВО центрального РФ "Российский университет кооперации". Смоленский филиал, 2015. С. 257–262.
18. Студеникин В. А., Малышев А. С., Фокина Г. В. Компьютерная графика: растровая графика, сравнение растровых графических редакторов // Материалы секционных заседаний 62-й студ. науч.-практ. конф. ТОГУ. Хабаровск: ТОГУ, 2022. С. 134–139.
19. Пальчикова И. Г., Смирнов Е. С. Пороги цветоразличения в модели RGB с глубиной цвета 8 бит // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 5, № 2. С. 30–35.
20. Арапов С. Ю., Арапова С. П., Тягунов А. Г. Экспериментальный комплекс мультиспектральной фотосъемки на основе стандартной цифровой камеры // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2014. № 5. С. 45–54.
21. Al-khazraji S. H., Khalil M. M., Khalil A. I. A Biomedical Application Software for Measuring Particles Sizes in Electro-Microscopic Images // Intellectual Technologies on Transport. 2023. № 3 (35). P. 38–43. doi: 10.24412/2413-2527-2023-335-38-43
22. Sheikh H. R., Bovik A. C. Image information and visual quality // IEEE Transactions on Image Pro-

Обоснование структуры форматов изображений

для решения задач распознавания образов при экологическом мониторинге
Justification of Image Format Structure for Solving Pattern Recognition Problems
in Environmental Monitoring

cessing. 2006. Vol. 15, iss. 2. P. 430–444. doi: 10.1109/tip.2005.859378

23. Потапов В. С. Реализация алгоритма преобразования классического изображения в квантовое состояние, выделения границ и преобразования полутонового изображения в бинарное // Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2019. № 3 (205). С. 43–50. doi: 10.23683/2311-3103-2019-3-43-51

24. Performance improvement of Lempel-Ziv-Welch compression algorithm / S. L. Frenkel, M. Kopeetsky, R. Molotkovsky, P. Borovsky // Informatics and Applications. 2015. Vol. 9, № 4. P. 78–84. doi: 10.14357/1992264150408

25. Базеева Н. А., Холодова Е. А., Радаев К. Д. Сравнение современных операционных систем. Личное и производственное пользование // E-Scio. 2020. № 6 (45). С. 638–643.

26. Ключеня В. В. Проектирование процессора вычисления дискретного косинусного преобразования для систем сжатия изображения по схеме lossless-to-lossy // Докл. БелГУ информатики и радиоэлектроники. 2021. Т. 19, № 3. С. 5–13. doi: 10.35596/1729-7648-2021-19-3-5-13

27. Анализ алгоритмов сжатия изображений JPEG и JPEG 2000 / П. С. Быковский, В. А. Ляшенко, А. А. Липницкий, М. А. Пак // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 6–2 (62). С. 23–32.

28. Способ сжатия графических файлов методами вейвлет-преобразований / А. А. Умбиталиев, С. В. Дворников, И. Н. Оков, А. А. Устинов // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2015. № 3. С. 100–106.

29. Автоматизация процедур обнаружения лесных пожаров по результатам обработки видео / Д. В. Васильева, С. В. Дворников, С. А. Якушенко, С. С. Дворников // Науч.-аналит. журн. Вестн. СПбУ ГПС МЧС России. 2023. № 4. С. 47–58.

30. Пугин Е. В. Обзор методов и алгоритмов обработки последовательностей цифровых изображений // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2014. № 3 (28). С. 50–59.

31. 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.

32. 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). 2023. № 33. С. 727–735. doi: 10.20948/graphicon-2023-727-735

33. Малыхина Г. Ф., Меркушева А. В. Совместное использование нейронной сети и вейвлет-преобразования при анализе нестационарного сигнала // Информационные технологии. 2008. № 7. С. 51–56.

Информация об авторах

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>

Дворников Сергей Викторович – доктор технических наук (2009), профессор (2014), профессор кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Автор 553 научных работ. Сфера научных интересов – построение помехозащищенных систем радиосвязи; формирование и обработка сигналов сложных структур. Адрес: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, д. 67, Санкт-Петербург, 190000, Россия

E-mail: practicdsv@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

Дворников Сергей Сергеевич – кандидат технических наук (2019), доцент (2022) кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного. Автор 200 научных работ. Сфера научных интересов – теория передачи сигналов; цифровая обработка сигналов; помехозащищенность каналов управления и связи радиотехнических систем.

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

E-mail: dvornik92@mail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7426-6475>

References

1. Svetsky A. V. Legal Protection of the Marine Environment from Oil and Petroleum Product Spills. Legal Studies. 2023, no. 3, pp. 1–12. doi: 10.25136/2409-7136.2023.3.39944 (In Russ.)
2. Alekseev D. V., Lentarev A. A Statistical Analysis of Oil and Oil Product Spills at Sea. Bull. of the State University of Sea and River Fleet n. a. Admiral S. O. Makarov. 2023, vol. 15, no. 6, pp. 959–970. doi: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-959-970 (In Russ.)
3. 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 (In Russ.)
4. Dvornikov S. V., Stepynin 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.)
5. Dvornikov S. V. Theoretical Foundations of the Synthesis of Bilinear Energy Distributions of Non-Stationary Processes in the Frequency-Temporary Space (Review). Proc. of Telecommunication Universities. 2018, vol. 4, no. 1, pp. 47–60. (In Russ.)
6. Dvornikov S. V., Dvornikov S. S., Vasilieva D. V. Automating Procedures of Oil Spills on the Water Surface. Information and Space. 2024, no. 1, pp. 126–132. (In Russ.)
7. Borisova O. N., Doronkina I. G. Analytical Assessment in Solving Environmental Monitoring Issues Using Information Technology on the Example of the Landfill of Household Waste "Timokhovo". Iindustrial Ecology. 2024, no. 1 (125), pp. 38–44. doi: 10.52190/2073-2589_2024_1_38 (In Russ.)
8. Gusev S. S. Vectorization of Raster Images. Applied Mathematics and Control Sciences. 2018, no. 4, pp. 83–98. doi: 10.15593/2499-9873/2018.4.05 (In Russ.)
9. Goryachkin B. S., Mozhaev D. V., Andrianov A. A. Comparative Analysis of Different Image Formats in the Context of a Web Application. Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences. 2023, no. 6, pp. 83–91. doi: 10.37882/2223-2966.2023.06.11 (In Russ.)
10. Savko A. A., Akinina Yu. S., Aralov M. N. Preobrazovanie graficheskikh failov v format pdf [Conversion of Graphic Files into PDF Format]. Proc. of the Winners of the Competition of Research Works of Students and Graduate Students of VSTU on Priority Directions of Science and Technology Development. Voronezh State Technical University, 2021, pp. 158–163. (In Russ.)
11. Sergeev A. V., Khorev P. B. Review and Analysis of Steganographic Methods in PDF Documents. Information Technologies. Radioelectronics. Telecommunications. 2020, no. 8, pp. 382–387. (In Russ.)
12. Ismagilov A. R., Kirpichnikov A. P., Lyasheva S. A., Shleimovich M. P. The Automated System of the Raster Images Vectorization. Herald of Technological University. 2018, vol. 21, no. 9, pp. 136–140. (In Russ.)
13. Dziuba M. O., Jarsky I., Efimova V., Filchenkov A. A Image Vectorization: A Review. Notes of Scientific Seminars of the St Petersburg Branch of the Обоснование структуры форматов изображений для решения задач распознавания образов при экологическом мониторинге
Justification of Image Format Structure for Solving Pattern Recognition Problems in Environmental Monitoring
- V. A. Steklov Mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences. 2023, vol. 530, pp. 6–23.
14. Merzlyakova E. Yu. Development of the Method for Embedding Information into Raster Images Using Lagrange Interpolation and Bezier Curves. The Herald of the Siberian State University of Telecommunications and Information Science. 2023, vol. 17, no. 3, pp. 12–22. doi: 10.55648/1998-6920-2023-17-3-12-22 (In Russ.)
15. Bosikov D. N., Gufan A. Yu., Eliseev A. S. Method of Fragile Labeling of Images and Animations in GIF Format without Data Loss. Telecommunications. 2013, no. 12, pp. 19–28. (In Russ.)
16. Radaev S. V., Ivanov V. A., Dvilyansky A. A., Adaratsky A. A. The Analysis of the Organization of the File Structure of the TIFF Format from the Point of View of the Steganographic Container. Industrial Automatic Control Systems and Controllers. 2017, no. 6, pp. 40–46. (In Russ.)
17. Gubnitskaya Yu. S., Pisarevsky N. Ya. Problema ispol'zovaniya formatov PNG i JPG, ignoriruya tekhnicheskie osobennosti SVG [The Problem of Using PNG and JPG Formats, Ignoring the Technical Features of SVG]. Informatics, Mathematical Modeling, Economics: Collection of Scientific Articles Based on the Results of the 5th Intern. Scientific-Practical Conf., Smolensk, 11–15 May 2015. Smolensk, Autonomous Non-Profit Educational Organization of Higher Education of the Centrosoyuz of the Russian Federation "Russian University of Cooperation", 2015, pp. 257–262. (In Russ.)
18. Studenikin V. A., Malyshev A. S., Fokina G. V. Komp'yuternaya grafika: rastrovaya grafika, sravnenie rastrovyykh graficheskikh redaktorov [Computer Graphics: Raster Graphics, Comparison of Raster Graphic Editors]. Proc. of the Sectional Sessions of the 62nd Student Scientific and Practical Conf. of TOGU, Khabarovsk, 01–31 May 2022. Khabarovsk, TSU, 2022, pp. 134–139. (In Russ.)
19. Palchikova I. G., Smimov E. C. Color Separation Thresholds in RGB Model with Color Depth of 8 Bits. Inter-expo Geo-Siberia. 2017, vol. 5, no. 2, pp. 30–35. (In Russ.)
20. Arapov S. Yu., Arapova S. P., Tyagunov A. G. Experimental Complex for Multispectral Photography on the Basis of Standard Digital Camera. News of Higher Educational Institutions. Problems of Printing and Publishing. 2014, no. 5, pp. 45–54. (In Russ.)
21. Al-Khazraji S. H., Khalil M. M., Khalil A. I. A Biomedical Application Software for Measuring Particles Sizes in Electro-Microscopic Images. Intelligent Technologies in Transportation. 2023, no. 3(35), pp. 38–43. doi: 10.24412/2413-2527-2023-335-38-43
22. Sheikh H. R., Bovik A. C. Image Information and Visual Quality. IEEE Transactions on Image Processing. 2006, vol. 15, iss. 2, pp. 430–444. doi: 10.1109/tip.2005.859378
23. Potapov V. S. Implementation of the Algorithm for Transforming a Classical Image into a Quantum Condition, Allocation of Borders and Transformation of a Halftone Image to a Binary One. Izvestia YuFU.

Technical Sciences. 2019, no. 3 (205), pp. 43–50. doi: 10.23683/2311-3103-2019-3-43-51 (In Russ.)

24. Frenkel S. L., Kopeetsky M., Molotkovsky R., Borovsky P. Performance Improvement of Lempel-Ziv-Welch Compression Algorithm. *Informatics and Applications*. 2015, vol. 9, no. 4, pp. 78–84. doi: 10.14357/1992264150408

25. Bazeeva N. A., Kholodova E. A., Radaev K. D. Comparison of Modern Operating Systems. *Personal and Industrial Use. E-Scio*. 2020, no. 6 (45), pp. 638–643. (In Russ.)

26. Kluchanya V. V. Design of a Discrete Cosine Transformation Processor for Image Compression Systems on a Lossless-to-Lossy Circuit. *Doklady BGUIR*. 2021, vol. 19, no. 3, pp. 5–13. doi: 10.35596/1729-7648-2021-19-3-5-13 (In Russ.)

27. Bykovskiy P. S., Lyashenko V. A., Lipnitsky A. A., Pak M. A. Analysis of JPEG and JPEG 2000 Image Compression Algorithms. *Actual Scientific Research in the Modern World*. 2020, no. 6–2 (62), pp. 23–32. (In Russ.)

28. Umbitaliev A. A., Dvornikov S. V., Okov I. N., Ustinov A. A. Method of Compression of Graphic Files by Wavelet Transforms Methods. *Voprosy radioelektroniki*. Series: Television Technics. 2015, no. 3, pp. 100–106. (In Russ.)

29. Vasilyeva D. V., Dvornikov S. V., Yakushenko S., Dvornikov S. S. Automation of Forest Fires Detection Procedures Based on Video Processing Results. *Scientific and Analytical Journal "Vestnik Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia"*. 2023, no. 4, pp. 30–40. (In Russ.)

30. Pugin E. V. Review of Methods and Algorithms for Processing Sequences of Digital Images. *Algorithms, Methods and Systems of Data Processing*. 2014, no. 3 (28), pp. 50–59. (In Russ.)

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

32. Gromov Yu. Yu., Ischuk I. N., Rodionov V. V. Application of Artificial Intelligence in Remote Monitoring Data Processing Tasks. *GraphiCon*. 2023, no. 33, pp. 727–735. doi: 10.20948/graphicon-2023-727-735 (In Russ.)

33. Malykhina G. F., Merkusheva A. V. Using the Neural Network and Wavelet Transformation Jointly for Nonstationary Signal Analysis. *Information technologies*. 2008, no. 7, pp. 51–56. (In Russ.)

Information about the authors

Dina V. Vasilyeva, Engineer in chemical technology of refractory non-metallic and silicate materials (2004, Saint 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, Bolshaya Morskaya St., St Petersburg 190000, Russia
E-mail: dolli.dina@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-5343-3356>

Sergey V. Dvornikov, Dr Sci. (Eng.) (2009), Professor (2014) of the Radio Communication Department of the Military Telecommunications Academy, Professor of the Department of Radio-engineering and Fiber-optic Complexes of the Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. The author of 553 scientific publications. Area of expertise: construction of noise-protected radio communication systems; formation and processing of signals of complex structures.
Address: Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, Bolshaya Morskaya St., St Petersburg 190000, Russia
E-mail: practicdsv@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

Sergey S. Dvornikov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Design and Technology of Electronic and Laser Means of Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Research Associate of the Research Center of Military Telecommunications Academy. The author of 200 scientific publications. Area of expertise: theory of signal transmission; digital signal processing; noise protection of control and communication channels of radio-technical systems.
Address: Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, Bolshaya Morskaya St., St Petersburg 190000, Russia
E-mail: dvornik92@mail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7426-6475>
