

Оценка структурной устойчивости растровых изображений

М.М. Алкхасонех

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарёва, Саранск*

Аннотация: Представлен эмпирический подход оценки структурной устойчивости растровых изображений. Оценка устойчивости связывается с предварительным расчетом таких характеристик растровых изображений как минимальное значение, среднее арифметическое, медиана, стандартное отклонение и модус пикселей изображения цветового пространства RGB/RGBA. В качестве метрики оценки устойчивости применена относительная среднеквадратическая ошибка характеристик исходного изображения и объектов, полученных в результате применения фильтрации и морфологических преобразований.

Ключевые слова: растровое изображение, фильтрация, морфология, статистические характеристики изображения, относительная среднеквадратическая ошибка $gmse$, OpenCV, Python.

Введение

Растровые изображения занимают значительное место в различных областях человеческой деятельности. При этом, результаты цифровой обработки изображений используются как в науке [1, 2], так и в производственно-исследовательских процессах [3-5] как в России, так и за рубежом [6, 7]. Можно отметить специфические, но важные приложения обработки изображений [8, 9]. Растровые изображения цветовых моделей RGB/RGBA являются наиболее значимыми при их компьютерной обработке [1, 10, 11]. Именно эти цветовые модели (цветовые пространства) положены в основу оценки структурной устойчивости при их последовательной обработке на основе фильтрации заданных изображений и морфологических операций [1]. В результате обработки изображений фиксируются такие показатели, как их минимальное значение пикселей, среднее, медиана, стандартное отклонение и модус (мода). Возможный сдвиг указанных характеристик положен в основу эвристического подхода к оценке структурной устойчивости растровых изображений с применением операций фильтрации и морфологии.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования приняты файлы растровых изображений следующих форматов: .webp, .jpg (.jpeg), .jp2, .bmp, .png, .tif (.tiff). Существуют базы растровых изображений, которые указаны, например, в [12]. Для иллюстрации результатов структурной устойчивости растровых изображений приняты изображения, показанные на рис. 1(а–г) и рис. 2–3.

			
а) Картинка черного цвета	б) Картинка белого цвета	в) Картинка синего цвета	г) Картинка красного цвета

Рис. 1. – Примеры одноцветных тестовых изображений

Картинки, приведенные на рис. 1, даны в уменьшенном размере. Далее на рис. 2–3 представлены эмблемы некоторых футбольных клубов России.

			
Спартак, г. Москва	Динамо, г. Москва	ЦСКА, г. Москва	Локомотив, г. Москва

Рис. 2. – Первая группа эмблем футбольных клубов России

На рис. 3 представлена вторая группа растровых изображений, эмблем футбольных клубов России. Указанные группы изображений приняты в качестве тестовых изображений, которые объединены одной тематикой.

			
Зенит, г. Санкт-Петербург	Рубин, г. Казань	Ростов, г. Ростов-на-Дону	Сочи, г. Сочи

Рис. 3. – Вторая группа эмблем футбольных клубов России

Приведенные на рис. 2 – 3 изображения, также даны в уменьшенных размерах.

Для определения характеристик (минимума, среднего арифметического, медианы, стандартного отклонения, модуса или моды) изображения были использованы следующие методы языка программирования Python при подключении модуля SciPy:

```
scipy.ndimage.minimum(),  
scipy.ndimage.mean(),  
scipy.ndimage.median(),  
scipy.ndimage.standard_deviation(),  
scipy.stats.mode().
```

Для осуществления фильтрации и морфологических операций над изображением были применены методы модуля opencv-python (OpenCV)

```
cv2.GaussianBlur(),  
cv2.medianBlur(),  
cv2.blur(),  
cv2.erode(),  
cv2.dilate().
```

Общая расчетная схема оценки структурной устойчивости растровых изображений представлена на рис. 4.

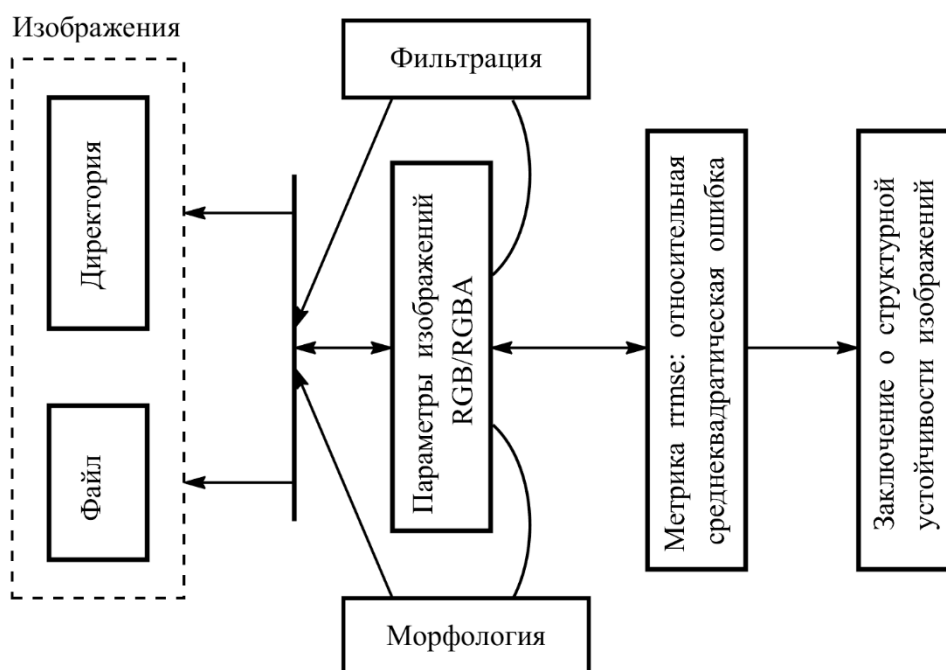


Рис. 4. – Схема оценки структурной устойчивости изображений

В соответствии со схемой рис. 4, была разработана программа на языке Python. Программа позволяет анализировать (загружать) либо одно изображение, либо группу изображений из заданной директории.

Первый этап работы программы заключается в определении параметров (характеристик) изображения – минимального, среднего арифметического, медианы, стандартного отклонения, моды (модуса). Фиксируются параметры исходного изображения в виде списка языка Python, например, под именем `original`.

Следующий этап заключается в фильтрации изображения и выполнении морфологических операций эрозии (`cv2.erode`) и дилатации (`cv2.dilate`). Соответственно, рассчитываются параметры изображения, прошедшего фильтрацию и морфологических операций. Для изображения, прошедшего операции фильтрации и морфологии, также фиксируются параметры в виде отдельных списков, например, `ans1`, `ans2`, `ans3`, `ans4`, `ans5`.

При этом, как показали экспериментальные исследования, целесообразно взять среднее списков *ans4* и *ans5*. Результат пусть будет с именем *ans45*.

Этап определения метрик (*rrmse*) заключается в расчете относительного среднеквадратической ошибки приближения списка *original* относительно *ans1*, *ans2*, *ans3*, *ans45*. Метрика *rrmse* – это относительная среднеквадратическая ошибка представляет собой среднеквадратичную ошибку, нормализованную среднеквадратичным значением, где каждый остаток масштабируется относительно фактического значения [13] и вычисляется по формуле:

$$rrmse = \sqrt{\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - z_i)^2}{\sum_{i=1}^n (z_i)^2}}, \quad (1)$$

где *n* – количество числовых данных, *y_i* – исходные (оригинальные) значения данных, *z_i* – сравниваемые данные.

В случае, когда основной знаменатель в (1) равен нулю, то применяется среднеквадратическая ошибка *rmse*:

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - z_i)^2}. \quad (2)$$

Метрика *rrmse* обычно выражается в процентах и качество изображения определяется в виде неравенств, представленных в табл. 1.

Таблица № 1

Диапазоны изменения метрики *rrmse*

Диапазон <i>rrmse</i> в процентах	Заключение о структурной устойчивости изображений
$0 \leq rrmse < 10$	Изображение структурно устойчиво на отлично (5)
$10 \leq rrmse < 20$	Изображение структурно устойчиво на хорошо (4)
$20 \leq rrmse < 30$	Изображение допустимо структурно устойчиво (3)
$rrmse \geq 30$	Изображение структурно неустойчиво

Таблица вида табл. 1 может быть использована также о степени приближения регрессионной модели данным эксперимента.

Для визуализации результатов использовались графики списков характеристик изображений в декартовой системе координат, оси которой размечены значениями интенсивности яркости цветовой модели RGB/RGBA в пределах от 0 до 255.

Результаты экспериментов

Как было указано выше, в качестве тестовых изображений приняты те, которые показаны на рис. 1–3.

Вопросам оценки качества изображений посвящено достаточно большое количество публикаций. Здесь можно отметить [5, 10]. Часто оценку качества изображений находят с помощью эталонных изображений [7, 11]. Объективные методы оценки качества изображений освещены в [2]. В [14] приводится методика ранжирования группы растровых изображений.

В работе [15] приведен подход оценки структурно-яркостных свойств растровых изображений. В основе подхода лежат только цветные фильтры, реализованные в системе MATLAB. Поэтому данная работа заметно отличается от [15], как в методике оценки качества структурных свойств изображений, так и в более распространенных средств программирования (Python) и цифровой обработке растровых изображений (OpenCV). Еще следует отметить, что в данной работе применяется условная эталонная оценка структурной устойчивости качества на основе условий метрики *rrmse* в табл. 1. В качестве такого эталонного изображения выступает исходное изображение со своими характеристиками. Относительно характеристик исходного изображения и выполняется заключение в соответствии с табл. 1.

Для тестовых изображений, показанных на рис. 1, получены оценки их структурной устойчивости, приведенные в табл. 2.

Таблица № 2

Результаты оценки первой группы тестовых изображений

Имя файла изображения, геометрический размер в пикселях	Значение g_{rmse} , %	Заключение о структурной устойчивости
Черный.png, 800×450	0,0	Устойчиво на отлично
Белый.png, 960×540	0,0	Устойчиво на отлично
Красный.bmp, 512×384	0,0	Устойчиво на отлично
Синий.png, 626×425	0,0	Устойчиво на отлично

На рис. 5–6 показаны графики изменения характеристик исходного изображения и прошедшего операции фильтрации и морфологии.

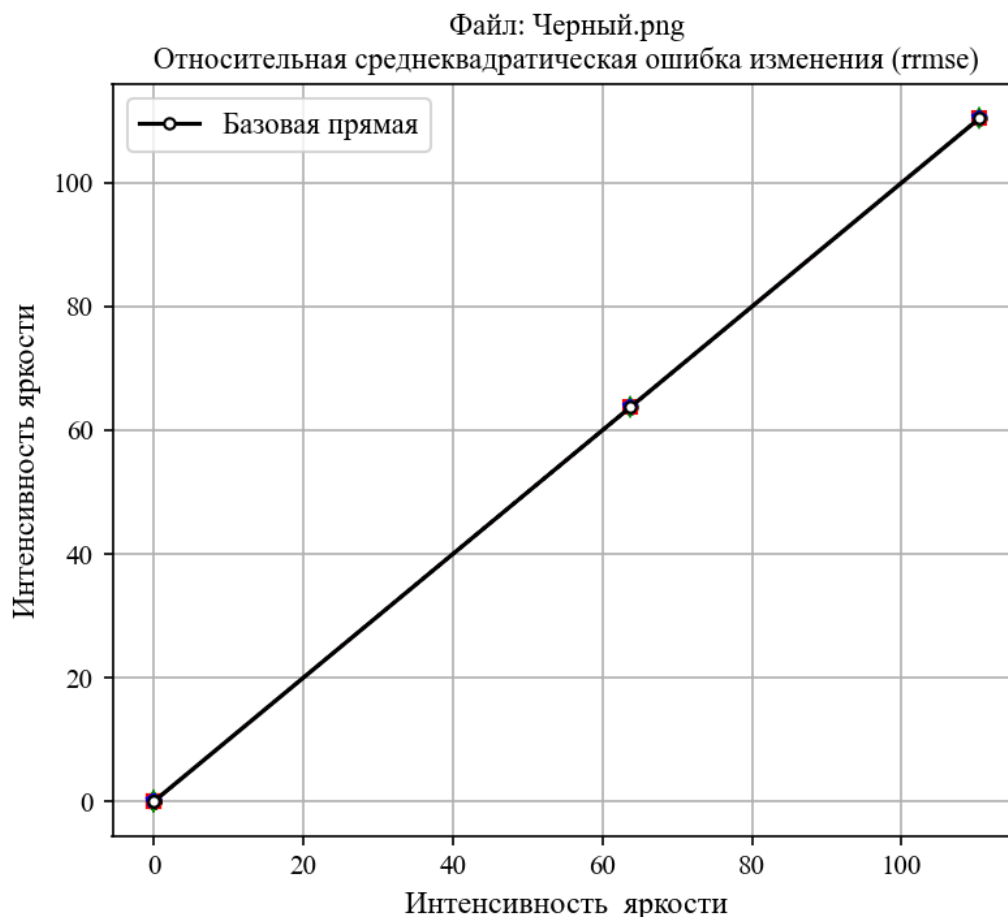


Рис. 5. – Диаграмма значений характеристик черной картинки

Как видно, все значения характеристик (маркеры в виде звездочек) совпали с базовой прямой линией, соответствующей параметрам исходного

изображения. Следует отметить, что для формата .jpg графики свойств черного изображения вырождаются в точку для всех рассмотренных вариантов фильтрации и морфологии. Соответственно, $gmse$ (относительная среднеквадратическая ошибка изменения свойств) для черного изображения формата .jpg также равна нулю.

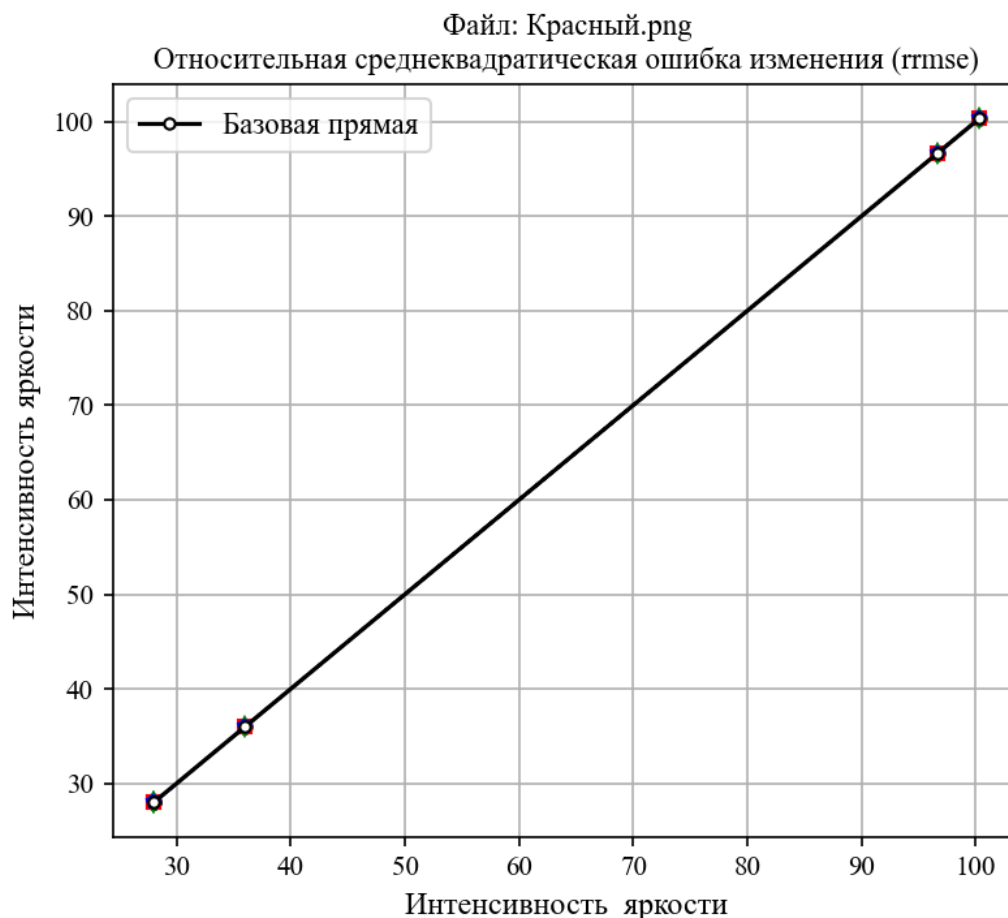


Рис. 6. – Диаграмма значений характеристик красной картинки

На рис. 6 также видно, что графики характеристик (маркеры в виде звездочек) совпали с базовой прямой линией.

Для тестовых изображений, показанных на рис. 2 (эмблемы футбольных клубов), получены оценки их структурной устойчивости, которые приведены в табл. 3.

Таблица № 3

Результаты оценки первой группы эмблем изображений

Имя файла изображения, геометрический размер в пикселях RGB/RGBA модели	Значение <i>rrmse</i> , %	Заключение о структурной устойчивости
Спартак.png, 600×403×4	0,808474	Устойчиво на отлично
Динамо.png, 373×658×4	0,335451	Устойчиво на отлично
ЦСКА.png, 560×761×3	2,500566	Устойчиво на отлично
Локомотив.png, 200×236×4	1,367852	Устойчиво на отлично

В табл. 3 цветовая модель RGB соответствует только ЦСКА.png. Остальные имеют цветовую модель RGBA – с альфа каналом.

Для тестовых изображений, показанных на рис. 3, получены оценки их структурной устойчивости, приведенные в табл. 4.

Таблица № 4

Результаты оценки второй группы эмблем изображений

Имя файла изображения, геометрический размер в пикселях RGB/RGBA модели	Значение <i>rrmse</i> , %	Заключение о структурной устойчивости
Зенит.png, 600×657×4	0,549560	Устойчиво на отлично
Рубин.png, 756×1016×4	0,270012	Устойчиво на отлично
Ростов.png, 600×600×4	13,603264	Устойчиво на хорошо
Сочи.png, 282×300×4	2,734550	Устойчиво на отлично

Сравнение результатов табл. 3 и табл. 4 показывает, что наиболее структурно устойчивое изображение есть Рубин.png с метрикой *rrmse*, равной 0,270012. Менее устойчивое изображение является эмблема клуба Ростов (Ростов.png) с метрикой *rrmse*, равной 13,603264. Как показывают результаты тестовых экспериментов, для структурно устойчивых изображений характерны малые значения метрик *rrmse*. При этом, заключение об устойчивости того или иного растрового изображения можно делать независимо от других сравниваемых изображений на основе диапазонов изменения метрики *rrmse* из табл. 1.

На рис. 7 приводится диаграмма параметров менее устойчивого изображения Ростов.png.

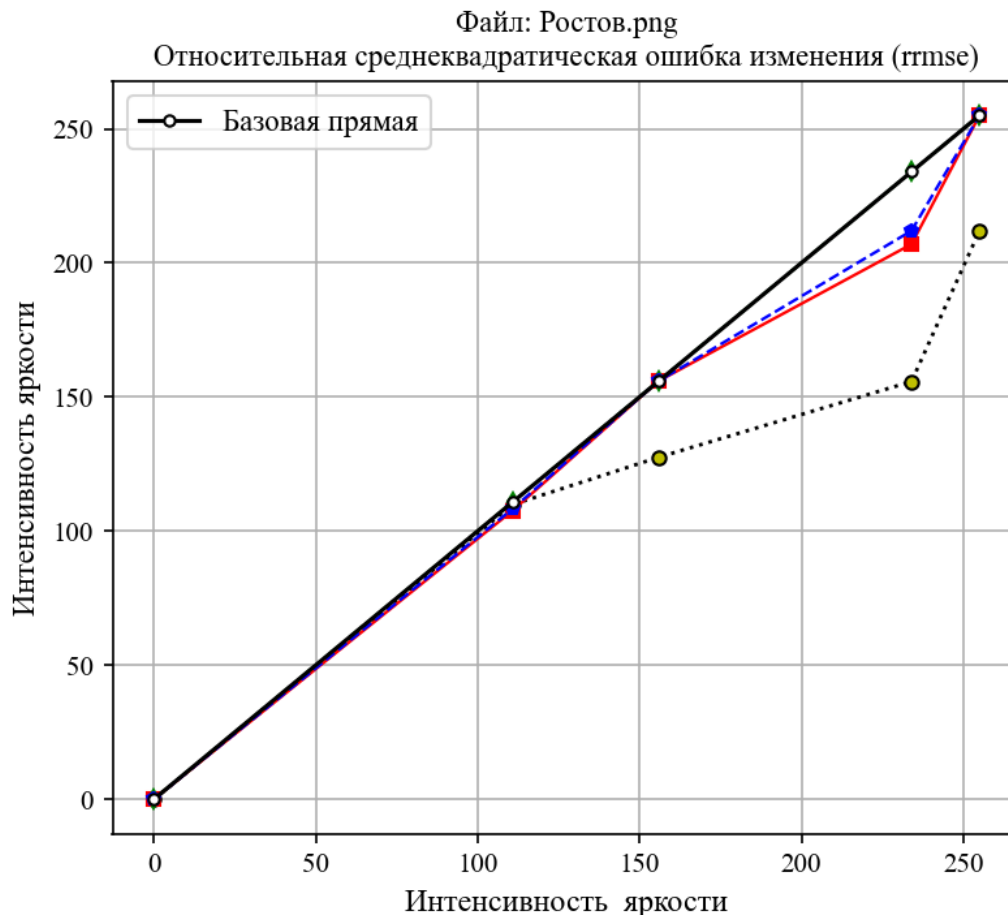


Рис. 7. – Графики значений характеристик Ростов.png

Видимые отклонения на рис. 7 означают характеристики изображения (минимум, среднее, медиана, стандартное отклонение, модус), над которым выполнены операции фильтрации и морфологии. Соответственно, базовая прямая (легенда графика) построена для оригинального изображения.

На рис. 8 приводится диаграмма значений характеристик наиболее устойчивого изображения – Рубин.png, для которого видно, что характеристики (маркеры на графике) преобразованного изображения практически совпадают с базовой прямой.

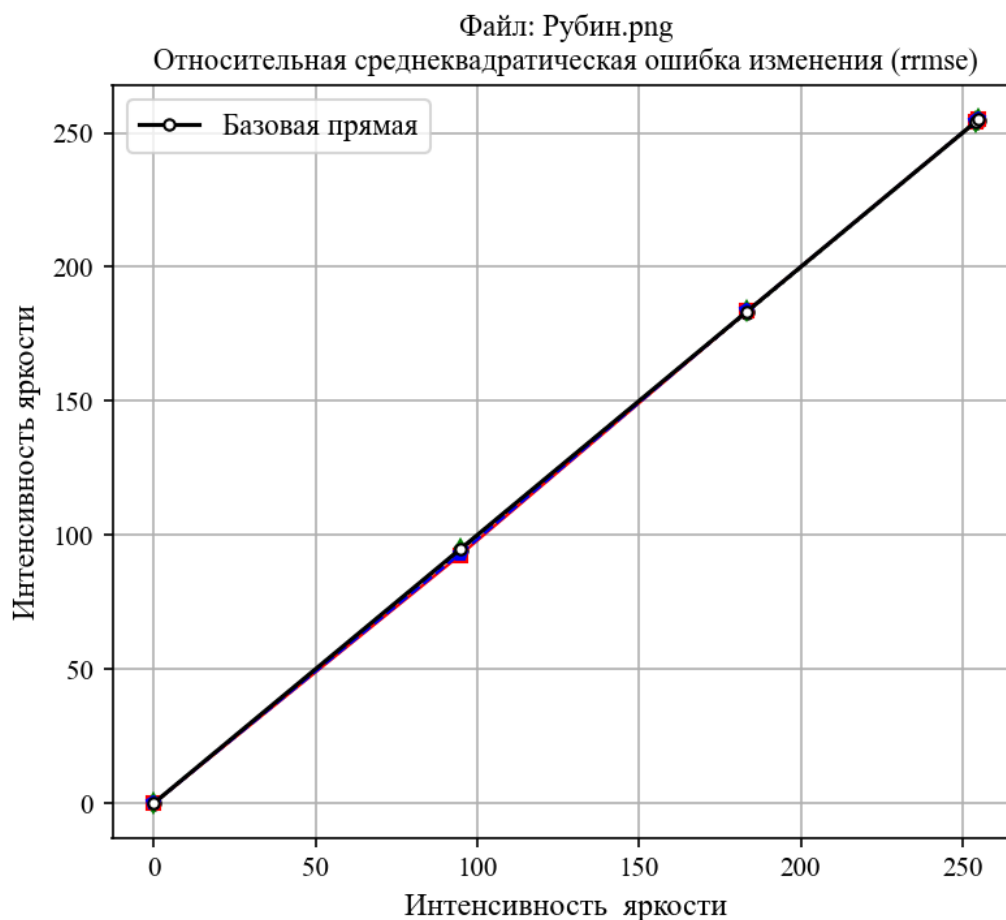


Рис. 8. – Диаграмма значений характеристик Рубин.png

Заключение

На основе экспериментальных исследований разработан подход, позволяющий выполнять оценку структурной устойчивости растровых изображений цветowych моделей RGB и RGBA достаточно оперативно, применяя достаточно устойчивые графические фильтры и морфологические операции. Полученные результаты могут быть использованы для создания изображений с возможно более устойчивыми структурными свойствами. Кроме того, можно выяснить устойчивость известных графических форматов (типа .bmp, .png и т.д.) для одного и того же изображения, его сцены. Это позволит остановиться на выборе соответствующего графического формата.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
 2. Бабкин П.С., Павлов Ю.Н. Анализ и сравнение объективных методов оценки качества изображений // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 9. С. 203-215.
 3. Захаров А.А., Жизняков А.Л., Титов В.С. Метод нахождения соответствий на изображениях с использованием структур дескрипторов // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 5. С. 810-817.
 4. Щетинин Е.Ю. Обнаружение коронавирусной инфекции COVID-19 на основе анализа рентгеновских снимков грудной клетки методами глубокого обучения // Компьютерная оптика. 2022. Т. 46. С. 963-970.
 5. Черушова Н.В., Митина Е.А., Касимкина М.М., Афонин В.В., Ерофеев В.Т. Оценка изменения декоративных свойств лакокрасочных материалов под воздействием эксплуатационных факторов // Вестник Мордовского университета. 2008. Т. 18. № 4. С. 124-127.
 6. Z. Hu, L. Hu, P. Bauer, T. J. Harris, and J. P. Allebach, "Relation between image quality and scan resolution: Part i", Proceedings of the Electronic Imaging, pp. 3221–3227, Jan. 2020. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2020.9.IQSP-322.
 7. Zhai, G. Perceptual image quality assessment: a survey // Science China Information Sciences. 2020. Vol. 63. № 11. Pp. 83–135.
 8. Д.М. Коробкин, В.С. Щербинин, С.А. Фоменков, А.С. Тозик. Анализ графических изображений патентных документов // Инженерный вестник Дона. 2023. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8865.
 9. А.В. Турицына. Использование методов компьютерного зрения для создания графологического сервиса, определяющего характер человека по его почерку // Инженерный вестник Дона. 2023. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8412.
-

10. Ерофеев В.Т., Афонин В.В., Касимкина М.М. Влияние пластификаторов на изменение цветности ЛКМ под воздействием агрессивных сред // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. № 6. С. 38–41.
11. Афонин В.В., Ерофеева И.В., Зоткина М.М., Емельянов Д.В., Подживотов Н.Ю. Эталонная оценка качества изображений композиционных материалов, подверженных воздействию положительных и отрицательных температур // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 1. С. 83–93. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.83-93
12. Ponomarenko N. [et al.] Image database TID2013: peculiarities, results and perspectives // Signal Processing: Image Communication. 2015. Vol. 30. Pp. 57–77.
13. Орлов А. И. Прикладная статистика. М.: Экзамен, 2006. 671 с.
14. Афонин В.В., Савкина А.В., Никулин В.В. Алгоритм и методика ранжирования группы растровых изображений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 4. С. 58–67. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-4-58-67
15. Афонин В.В., Савкина А.В., Никулин В.В. Оценка устойчивости структурно-яркостных свойств при цифровой обработке изображений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 2. С. 39–46. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-2-39-46

References

1. Gonsales R., Vuds R. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij [Digital image processing]. M.: Texnosfera, 2012. 1104 p.
 2. Babkin P.S., Pavlov Yu.N. Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E`. Bauman. 2014. № 9. pp. 203-215.
 3. Zaxarov A.A., Zhiznyakov A.L., Titov V.S. Komp`yuternaya optika. 2019. T. 43. № 5. pp. 810-817.
 4. Shhetinin E.Yu. Komp`yuternaya optika. 2022. T. 46. pp. 963-970.
 5. Cherushova N.V., Mitina E.A., Kasimkina M.M., Afonin V.V., Erofeev V.T. Vestnik Mordovskogo universiteta. 2008. T. 18. № 4. pp. 124-127.
 6. Z. Hu, L. Hu, P. Bauer, T. J. Harris, and J. P. Allebach, "Relation between image quality and scan resolution: Part i", Proceedings of the Electronic Imaging, pp. 3221–3227, Jan. 2020. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2020.9.IQSP-322.
 7. Zhai, G. Science China Information Sciences. 2020. Vol. 63. № 11. Pp. 83–135.
 8. D.M. Korobkin, V.S. Shherbinin, S.A. Fomenkov, A.S. Tozik. Inzhenerny`j vestnik Dona. 2023. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8865.
 9. A.V. Turicyna. Inzhenerny`j vestnik Dona. 2023. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8412.
 10. Erofeev V.T., Afonin V.V., Lakokrasochny`e materialy` i ix primenenie. 2011. № 6. pp. 38–41.
 11. Afonin V.V., Erofeeva I.V., Zotkina M.M., Emel`yanov D.V., Podzhivotov N.Yu. Vestnik MGSU. 2019. T. 14. Vy`p. 1. pp. 83–93. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.83-93
 12. Image database TID2013: Signal Processing: Image Communication. 2015. Vol. 30. Pp. 57–77.
 13. Orlov A. I. Prikladnaya statistika[Applied Statistics]. M.: E`kzamen, 2006. 671 p.
-



14. Afonin V.V., Savkina A.V., Nikulin V.V. Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vy`chislitel`naya texnika i informatika. 2021. № 4. pp. 58–67. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-4-58-67

15. Afonin V.V., Savkina A.V., Nikulin V.V. Vestnik Astraxanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vy`chislitel`naya texnika i informatika. 2021. № 2. pp. 39–46. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-2-39-46.

Дата поступления: 17.03.2024

Дата публикации: 30.04.2024