

КОМПЬЮТЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

DOI: 10.24143/2072-9502-2021-2-39-46
УДК 004.932.2

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СТРУКТУРНО-ЯРКОСТНЫХ СВОЙСТВ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В. В. Афонин, А. В. Савкина, В. В. Никулин

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва,
Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация*

Предлагается определять оценку устойчивости структурных и яркостных свойств растровых изображений. Под оценкой устойчивости понимается возможность сохранения свойств изображения в результате обработки оригинала методами фильтрации. В качестве оригинальных изображений принимаются полутоновые варианты полноцветных изображений, представленных в цветовом пространстве RGB. К полутоновым изображениям применяется фильтрация посредством алгоритмов Гаусса, Винера и медианной фильтрации. Следующий шаг заключается в применении алгоритма SSIM для получения индекса структурного сходства между контрольным полутоновым изображением и отфильтрованным изображением. Для определения метрики оценки качества изображений рассчитывается площадь S многоугольника, заданного индексами сходства относительного контрольного изображения, и площадь S_p прямоугольника, в который вписывается многоугольник площадью S . В качестве испытываемых растровых изображений были приняты изображения из международной базы изображений TID2008 (imagedatabase 2008), TID2013 (imagedatabase 2013). Также были рассмотрены изображения официальных гербов субъектов Российской Федерации – краев, областей, республик и т. д. Результирующая оценка устойчивости определяется либо в виде среднего геометрического значения от четырех рассчитанных величин, либо в виде их среднего арифметического значения. Приведены результаты тестирования ряда групп растровых изображений, которые объединены общей тематикой или назначением. Из каждой группы изображений определяются максимальные и минимальные значения оценок устойчивости изображений к структурным и яркостным изменениям в соответствии с разработанным эвристическим алгоритмом. Полученные результаты могут быть использованы для сравнительной оценки конкурирующих изображений с целью выбора наиболее устойчивого к структурным и яркостным изменениям.

Ключевые слова: фильтрация, обработка изображений, структурно-яркостные свойства изображения, оценка устойчивости, индекс структурного сходства.

Для цитирования: *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.

Введение

В настоящее время цифровая обработка изображений занимает значительное место среди различных научных направлений и входит во многие учебные дисциплины, по которым издаются дополнительные учебные пособия [1–7]. Одним из важных разделов обработки изображений является оценка их качества [7–20].

Среди методов оценки качества изображений выделяют объективные и субъективные методы, референсные и нереференсные методы [8–16, 19, 20]. Алгоритм SSIM (structure similarity) относится к группе референсных методов и алгоритмов. Несмотря на то, что он подвергается определенной критике, алгоритм SSIM [21] достаточно широко применяется.

В предлагаемой работе алгоритм SSIM используется для сравнения изображений, которые прошли фильтрацию с помощью таких методов, как метод Гаусса, метод Винера и метод медианной фильтрации [1–4, 22]. Результат каждой фильтрации сравнивается с контрольным образцом, полутоновым изображением. Для выбранного алгоритма SSIM величина индекса структурного сходства принадлежит отрезку $[0; 1]$, что позволяет привести другие величины к этому отрезку.

Условно каждый результат фильтрации с последующим вычислением индекса структурного сходства можно отложить в прямоугольной системе координат по оси абсцисс (оригинал и фильтры), а сам результат – по оси ординат.

Пример изменения индекса структурного сходства в результате проведенной фильтрации тестового изображения показан на рис. 1.

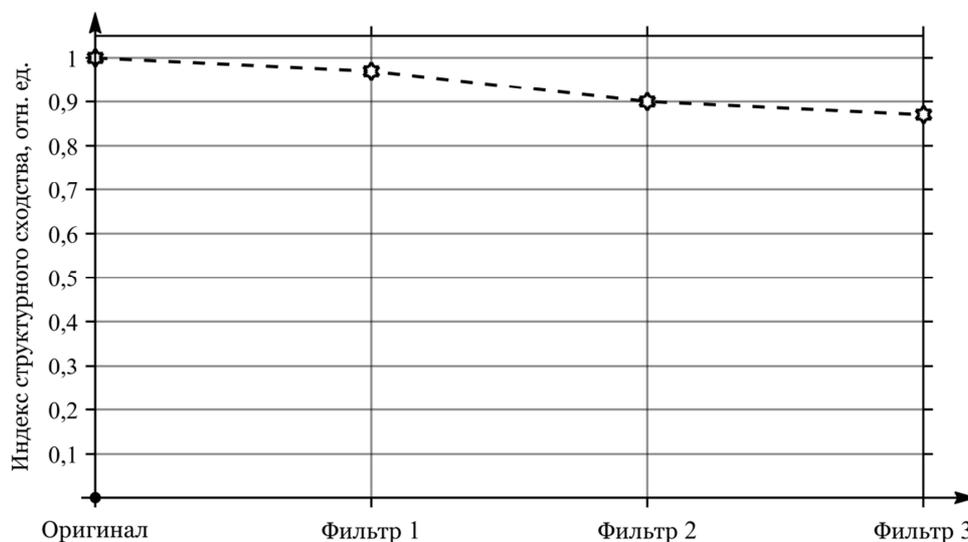


Рис. 1. Изменение индекса структурного сходства

Точка «Оригинал» соответствует контрольному изображению. Точка «Фильтр 1» соответствует гауссовой фильтрации, «Фильтр 2» – винеровской фильтрации, «Фильтр 3» – медианной фильтрации. Результаты фильтрации с последующим вычислением индекса структурного сходства с помощью SSIM можно рассматривать в виде многоугольника относительно оси абсцисс на координатной плоскости (рис. 1). Обозначим площадь такого многоугольника через S . Неизменность индекса структурного сходства будет отображаться прямоугольником площади S_p с высотой, равной единице. Видно, что площадь S составляет только часть площади S_p такого прямоугольника. При этом для структурно-устойчивых изображений пунктирная линия на рис. 1 будет практически параллельна оси абсцисс на уровне единицы. Сравнимые изображения будут эквивалентны.

Материалы и методы

Для исследования приняты доступные растровые изображения, в частности, pristine из международных баз тестовых изображений TID2008, TID2013, официальные гербы городов, краев, республик, автономных округов, автономной области Российской Федерации. Группы тестовых изображений сведены в табл. 1.

Таблица 1

Группы тестовых изображений

Группа	Количество изображений	Формат графических файлов
Гербы городов федерального значения РФ (Москва, Санкт-Петербург, Севастополь)	3	.png
Гербы областей РФ	46	.png
Гербы краев РФ	10	.png
Гербы республик РФ	22	.png
Гербы автономных округов	4	.png
Герб автономной области	1	.png
pristine	90	.jpeg, .bmp

Отметим, что названия графических файлов в *pristine* нумеруются от 01 до 90.

В качестве среды цифрового анализа изображений принята система MATLAB [22], где имеется функция *ssim* для определения индекса структурного сходства двух изображений, фильтры *imgaussfilt* (G), *wiener2* (W), *medfilt2* (M). Имеются также функции чтения изображений из файла (*imread*), преобразования матрицы изображения к вещественному типу *double* (*im2double*) и *rgb2gray* для преобразования полноцветного изображения модели RGB к полутоновому изображению (*grayscale* – Gr). Следует отметить, что подобные функции существуют и в других системах, например OpenCV [23]. Предлагаемая схема определения метрики оценки устойчивости структурно-яркостных свойств одного изображения приведена на рис. 2.

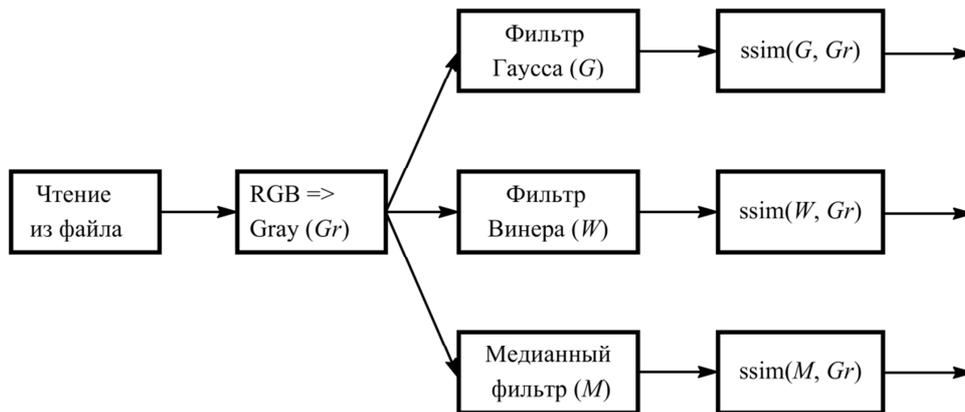


Рис. 2. Схема определения метрики оценки устойчивости структурно-яркостных свойств изображения

В результате применения классического алгоритма SSIM [20] оценка структурного сходства принадлежит отрезку $[-1; 1]$. Здесь мы используем преобразования для каждого отфильтрованного (гауссовским, винеровским, медианным фильтрами) изображения, когда индекс структурного сходства приводится к отрезку $[0; 1]$:

$$G_s = (\text{ssim}(G, Gr) + 1)/2; \quad W_s = (\text{ssim}(W, Gr) + 1)/2; \quad M_s = (\text{ssim}(M, Gr) + 1)/2,$$

при этом значение 1 соответствует полному структурному сходству, в частности, когда изображение не было подвержено преобразованиям. Для отображения результатов на координатной плоскости результаты G_s , W_s , M_s сортируются по убыванию, после чего вычисляется площадь (S) и определяется ее отношение (K_{sp}) к площади прямоугольника Sp , при этом выполняется очевидное условие $Sp \geq S$: $K_{sp} = S/Sp$ (рис. 3).

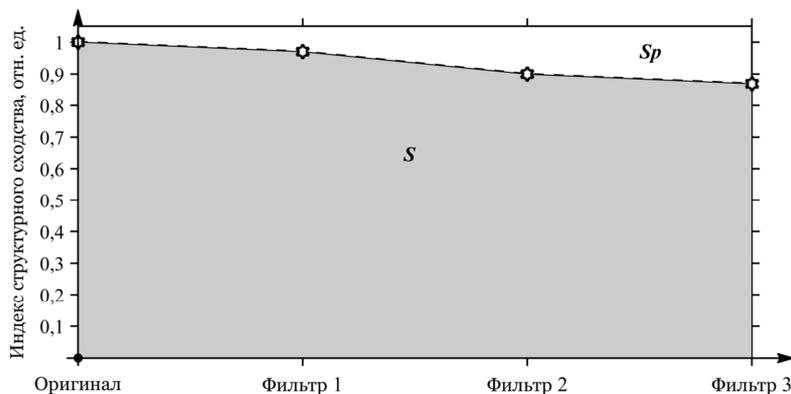


Рис. 3. Отношение S к Sp с учетом данных оригинала и фильтров

После вычисления величин G_s , W_s , M_s , K_{sp} определяется метрика *Metrics* оценки устойчивости структурно-яркостных свойств изображения. При этом метрика определяется

через среднее геометрическое значение, если величины G_s , W_s , M_s , K_{sp} больше нуля, в противном случае (когда есть одно из нулевых значений) расчет метрики выполняется через среднее арифметическое, т. е.

$$Metrics = \sqrt[4]{G_s \cdot W_s \cdot M_s \cdot K_{sp}}; \quad (1)$$

$$Metrics = \frac{G_s + W_s + M_s + K_{sp}}{4}. \quad (2)$$

В случае неизменности структурно-яркостных свойств изображения метрика $Metrics$ будет стремиться к единице на введенном авторами графике типа рис. 3. Это, в свою очередь, будет означать, что изображение практически не подвергается искажениям в результате проведенной над ним поэтапной фильтрации. Такое изображение устойчиво к изменению своих структурно-яркостных свойств в результате возможных непредвиденных внешних воздействий. В противном случае изображение следует считать менее устойчивым к сохранению структурно-яркостных свойств. Таким образом, авторами предлагается эвристическое предположение о поэтапной фильтрации исследуемого изображения с последующим применением модифицированного алгоритма SSIM, подтверждаемое многочисленными экспериментами, которое связано с проведением эксперимента в соответствии со схемой рис. 2, а также формулами (1) и (2).

Результаты исследования

В соответствии с заявленными группами изображений и предложенным алгоритмом были получены результаты, которые сведены в табл. 2, где отражены более и менее устойчивые к структурно-яркостным изменениям изображения. Имена тестовых изображений приводятся в своем оригинале.

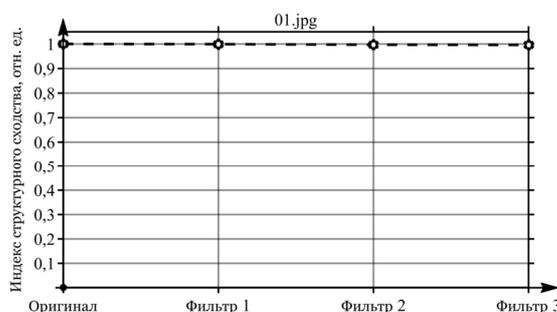
Таблица 2

Результаты оценки устойчивости структурно-яркостных свойств изображений

Имя тестовой группы	Имя объекта	Метрика* / Metrics
Гербы городов федерального значения РФ	COA of Sevastopol.svg	0,987357
	Coat of Arms of Saint Petersburg (2003)	0,958037
Гербы областей РФ	121px-Coat of arms of Irkutsk Oblast	0,991764
	150px-Coat of arms of Vladimiri Oblast	0,907005
Гербы краев РФ	120px-Coat of Arms of Kamchatka Krai	0,987181
	123px-Coat of arms of Krasnoyarsk Krai	0,882960
Гербы республик РФ	122px-Coat of Arms of Buryatia	0,987416
	150px-Coat of Arms of Altai Republic	0,911687
Гербы автономных округов	114px-Coat of arms of Nenets Autonomous Okrug	0,959723
	110px-Coat of Arms of Yamal Nenetsia.svg	0,942475
pristine	01.jpg	0,997543
	80.jpg	0,928472

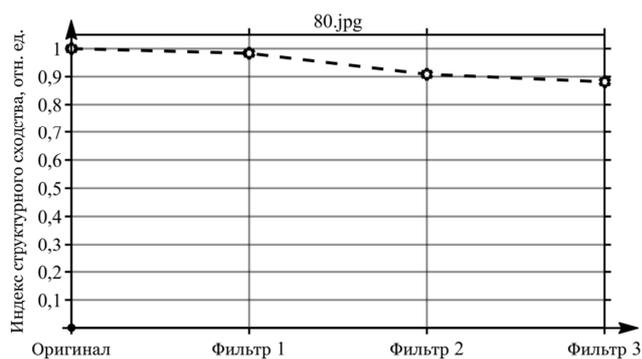
*Величина метрики оценки устойчивости структурно-яркостных свойств герба Еврейской автономной области: 0,978383

Характер изменения индекса структурного сходства для изображений 01.jpg и 80.jpg из международной базы pristine приведен на рис. 4 (а, б).



а

Рис. 4. Результаты анализа изображений 01.jpg (а) и графики изменений их индексов структурного сходства



б

Рис. 4 (окончание). Результаты анализа изображений 80.jpg (б) и графики изменений их индексов структурного сходства

В соответствии с полученными результатами отмечаем, что изображение 01.jpg является более устойчивым из базы pristine, изображение 80.jpg – менее устойчивое из той же базы.

Заключение

Предложенная методика оценки устойчивости структурно-яркостных свойств растровых изображений позволяет из группы родственных изображений выделить наиболее устойчивое и наименее устойчивое изображения. Соответственно, можно провести ранжирование изображений по предложенной метрике оценки устойчивости структурно-яркостных свойств изображений. Это, в свою очередь, позволяет выполнить сравнительную оценку конкурирующих изображений, чтобы выбрать одно из них. В то же время авторы готовы принять любые замечания специалистов в области цифровой обработки изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Э. Э., Савкина А. В. Компьютерная графика: учеб. пособие. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. 88 с.
2. Дёмин А. Ю. Основы компьютерной графики: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. 191 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
4. Нуштаева А. В., Савкина А. В. Лабораторный практикум по компьютерной графике: учеб. пособие. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. 132 с.
5. Никулин Е. А. Компьютерная графика. Модели и алгоритмы: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2018. 708 с.
6. Аверин В. Н. Компьютерная инженерная графика: учеб. пособие. М.: Academia, 2019. 208 с.
7. Матвеев Д. В., Седов А. Г. и др. Оценка качества цифровых изображений и видеоданных: учеб.-метод. пособие. Ярославль: Изд-во ЯрГУ, 2018. 76 с.
8. 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.
9. 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 // Вестн. Мордов. ун-та. 2008. № 4. С. 124–127.
10. 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 // Вестн. МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 1. С. 83–93. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.83-93.
11. Бабкин П. С., Павлов Ю. Н. Анализ и сравнение объективных методов оценки качества изображений // Наука и образование: науч. изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. № 9. С. 203–215.
12. Сидоров Д. В. К вопросу оценки качества множества восстановленных изображений // Прикладная информатика. 2008. № 4 (16). С. 92–95.
13. Yeganeh H., Wang Z. Objective quality assessment of tone-mapped images // IEEE Transactions on Image Processing. 2013. V. 22. Iss. 2. Pp. 657–667. DOI: 10.1109/tip.2012.2221725.
14. Gu K., Zhou J., Zhai G., Lin W., Bovik A. C. No-reference quality assessment of screen content pictures // IEEE Transactions on Image Processing. 2017. V. 26. N. 8. P. 4005–4017.

15. Pambrun J. F., Noumeir R. Limitations of the SSIM quality metric in the context of diagnostic imaging // Proc. of the IEEE International Conference on Image Processing, 2015. Pp. 2960–2963.
16. Старовойтов В. В., Старовойтов Ф. В. Сравнительный анализ безэталонных мер оценки качества цифровых изображений // Системный анализ и прикладная информатика. 2017. № 1 (13). С. 24–32.
17. Старовойтов В. В. Уточнение индекса SSIM структурного сходства изображений // Информатика. 2018. Т. 15. № 3. С. 41–55.
18. Ma J., Fan X., Yang S. X., Zhang X., Zhu X. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Based Fusion for Underwater Image Enhancement // International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. December 2017. N. 32 (07). DOI: 10.20944/preprints201703.0086.v1.
19. Wang Z., Bovik A. C. Modern image quality assessment // Synthesis Lectures on Image, Video, and Multimedia Processing. 2006. V. 2. N. 1. P. 1–156.
20. Zhou W., Bovik A. C., Sheikh H. R., Simoncelli E. P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity // IEEE Transactions on Image Processing. 2004. V. 13. Iss. 4. P. 600–612.
21. Старовойтов В. В. Индекс SSIM не является метрикой и плохо оценивает сходство изображений // Системный анализ и прикладная информатика. 2019. № 2. С. 12–17.
22. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Техносфера, 2006. 616 с.
23. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 752 с.

Статья поступила в редакцию 05.02.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Виктор Васильевич Афонин – канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления; Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва; Россия, 430005, Саранск; vvafonin53@yandex.ru.

Анастасия Васильевна Савкина – канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления; Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва; Россия, 430005, Саранск; av-savkina@yandex.ru.

Владимир Валерьевич Никулин – канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой инфокоммуникационных технологий и систем связи; Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва; Россия, 430005, Саранск; nikulinvv@mail.ru.



ESTIMATING STABILITY OF STRUCTURAL AND BRIGHTNESS PROPERTIES IN IMAGE DIGITAL PROCESSING

V. V. Afonin, A. V. Savkina, V. V. Nikulin

*National Research Ogarev Mordovia State University,
Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation*

Abstract. The article considers determining the stability assessment of the structural and brightness properties of raster images. The stability assessment refers to the ability of preserving the image properties due to the original image processing by filtering. Halftone versions of the full-color images presented in the RGB color space are accepted as original images. The grayscale images are filtered using the Gaussian, Wiener, and median filtration algorithms. The next step is to use one of the variants of the SSIM algorithm to obtain the structural similarity index between the control halftone image and the filtered image. In order to create a relative and dimensionless metric there has been calculated the area of the polygon S set by the values of the similarity indices relative to the control gray-

scale image, and the area of the rectangle Sp that contains the area of the polygon S . Images from the international image database TID2008 (image database 2008), TID2013 (image database 2013) were taken as test bitmaps. The official coats of arms of the Russian Federation entities – territories, regions, republics, etc. - were also considered. The resulting stability score is determined either as the geometric mean of the four calculated values, or as their arithmetic mean. The results of testing the groups of bitmap images that are united by a common theme or purpose are presented. From each group of images, the maximum and minimum values of the estimates of the image stability to structural and brightness changes are determined in accordance with the developed heuristic algorithm. The results obtained can be used for comparative evaluation of competing images in order to select the most resistant to structural and brightness changes.

Key words: filtering, image processing, structural and brightness properties of the image, stability assessment, structural similarity index.

For citation: Afonin V. V., Savkina A. V., Nikulin V. V. Estimating stability of structural and brightness properties in image digital processing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2021;2:39-46. (InRuss.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-2-39-46.

REFERENCES

1. Aleksandrov E. E., Savkina A. V. *Komp'yuternaya grafika: uchebnoe posobie* [Computer graphics: tutorial]. Saransk, Izd-vo Mordov. un-ta, 2005. 88 p.
2. Demin A. Iu. *Osnovy komp'yuternoi grafiki: uchebnoe posobie* [Fundamentals of computer graphics: tutorial]. Tomsk, Izd-vo Tom. politekhn. un-ta, 2011. 191 p.
3. Gonzalez R. C., Woods R. E. *Digital Image Processing*. Pearson Education International, 2007. 976 p. (Russ. ed.: Gonsales R., Vuds R. Tsifrovaia obrabotka izobrazhenii. M.: Tekhnosfera, 2012. 1104 s.).
4. Nushtaeva A. V., Savkina A. V. *Laboratornyy praktikum po komp'yuterno grafike: uchebnoe posobie* [Laboratory workshop on computer graphics: tutorial]. Saransk, Izd-vo Mordov. un-ta, 2018. 132 p.
5. Nikulin E. A. *Komp'yuternaya grafika. Modeli i algoritmy: uchebnoe posobie* [Computer graphics. Models and algorithms: tutorial]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2018. 708 p.
6. Averin V. N. *Komp'yuternaya inzhenernaya grafika: uchebnoe posobie* [Computer engineering graphics: teaching aids]. Moscow, Academia Publ., 2019. 208 p.
7. Matveev D. V., Sedov A. G. i dr. *Otsenka kachestva tsifrovyykh izobrazhenii i videodannykh: uchebno-metodicheskoe posobie* [Assessing quality of digital images and video data: training manual]. Iaroslavl', Izd-vo IarGU, 2018. 76 p.
8. Erofeev V. T., Afonin V. V., Kasimkina M. M. Vliianie plastifikatorov na izmenenie tsvetnosti LKM pod vozdeistviem agressivnykh sred [Influence of plasticizers on color change of paint and laquer materials under aggressive compounds]. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 2011, no. 6, pp. 38-41.
9. Cherushova N. V., Mitina E. A., Kasimkina M. M., Afonin V. V., Erofeev V. T. Otsenka izmeneniia dekorativnykh svoystv lakokrasochnyykh materialov pod vozdeistviem ekspluatatsionnykh faktorov [Assessment of changes in decorative properties of paints and varnishes under the influence of operational factors]. *Vestnik Mordovskogo universiteta*, 2008, no. 4, pp. 124-127.
10. Afonin V. V., Erofeeva I. V., Zotkina M. M., Emel'ianov D. V., Podzhivotov N. Iu. Etalonnaia otsenka kachestva izobrazhenii kompozitsionnykh materialov pod verzhennykh vozdeistvii u polozhitel'nykh i otritsatel'nykh temperatur [Reference assessment of quality of images of composite materials exposed to positive and negative temperatures]. *Vestnik MGSU*, 2019, vol. 14, iss. 1, pp. 83-93. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.83-93.
11. Babkin P. S., Pavlov Iu. N. Analiz i sravnenie ob"ektivnykh metodov otsenki kachestva izobrazhenii [Analysis and comparison of objective methods for assessing quality of images]. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N. E. Bauman*, 2014, no. 9, pp. 203-215.
12. Sidorov D. V. K voprosu otsenki kachestva vozstanovlennykh izobrazhenii [On problem of assessing quality of set of recovered images]. *Prikladnaya informatika*, 2008, no. 4 (16), pp. 92-95.
13. Yeganeh H., Wang Z. Objective quality assessment of tone-mapped images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, vol. 22, iss. 2, pp. 657-667. DOI: 10.1109/tip.2012.2221725.
14. Gu K., Zhou J., Zhai G., Lin W., Bovik A. C. No-reference quality assessment of screen content pictures. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 4005-4017.
15. Pambrun J. F., Noumeir R. Limitations of the SSIM quality metric in the context of diagnostic imaging. *Proc. of the IEEE International Conference on Image Processing*, 2015, pp. 2960-2963.
16. Starovoitov V. V., Starovoitov F. V. Sravnitel'nyi analiz bezetalonnykh mer otsenki kachestva tsifrovyykh izobrazhenii [Comparative analysis of non-standard measures for assessing quality of digital images]. *Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika*, 2017, no. 1 (13), pp. 24-32.

17. Starovoitov V. V. Utochnenie indeksa SSIM strukturnogo skhodstva izobrazhenii [Refinement of SSIM index of structural similarity of images]. *Informatika*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 41-55.
18. Ma J., Fan X., Yang S. X., Zhang X., Zhu X. Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Based Fusion for Underwater Image Enhancement. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, December 2017, no. 32 (07). DOI: 10.20944/preprints201703.0086.v1.
19. Wang Z., Bovik A. C. Modern image quality assessment. *Synthesis Lectures on Image, Video, and Multimedia Processing*, 2006, vol. 2, no. 1, pp. 1-56.
20. Zhou W., Bovik A. C., Sheikh H. R., Simoncelli E. P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, April 2004, vol. 13, iss. 4, pp. 600-612.
21. Starovoitov V. V. Indeks SSIM ne iavliaetsia metrikoi i plokhoe otsenivaet skhodstvo izobrazhenii [SSIM index is not a metric and poorly evaluates image similarity]. *Sistemnyi analiz i prikladnaia informatika*, 2019, no. 2, pp. 12-17.
22. Gonsales R., Vuds R., Eddins S. *Tsifrovaia obrabotka izobrazhenii v srede MATLAB* [Digital image processing in MATLAB]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2006. 616 p.
23. Shapiro L. G., Stockman G. C. *Computer Vision*. Pearson, 2001. 608 p. (Russ. ed.: Shapiro L., Stokman Dzh. Komp'iuternoe zrenie. M.: BINOM. Laboratoriia znaniy, 2013. 752 s.).

The article submitted to the editors 05.02.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Viktor V. Afonin – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Automated Information Processing Systems and Management; National Research Ogarev Mordovia State University; Russia, 430005, Saransk; vvafonin53@yandex.ru.

Anastasia V. Savkina – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Automated Information Processing Systems and Management; National Research Ogarev Mordovia State University; Russia, 430005, Saransk; av-savkina@yandex.ru.

Vladimir V. Nikulin – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Infocommunication Technologies and Communication Systems; National Research Ogarev Mordovia State University; Russia, 430005, Saransk; nikulinvv@mail.ru.

