

УДК 621.396

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕСТАВРАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОГО ИСКУССТВА

А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
РАН, 141120, Московская область, Фрязино, пл. академика Введенского, 1

Статья поступила в редакцию 7 сентября 2018 г.

Аннотация. В этой работе, для целей реставрации, на примерах виртуальной реконструкции широко известных произведений изобразительного искусства, рассматривается применения методов цифровой обработки изображений. Во-первых это метод интерполяции последовательного вычисления спектра Фурье (МИПВС) позволяющий ретушировать и восстанавливать отсутствующие (затенённые) части изображения. Во-вторых, это методы увеличения контраста (преобразования динамического диапазона яркостей) изображения, такие как Dark Channel Prior (DCP) со статистически определяемыми параметрами (DCPS), и комбинация DCPS с методом CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization). Представленные результаты свидетельствуют о существенном повышении качества обрабатываемых изображений, что может служить вспомогательным инструментарием для реставраторов при их практической деятельности.

Ключевые слова: реставрация, интерполяция, ретуширование и восстановление изображений, повышение различимости мелких деталей.

Abstract. The proposed work describes the application of digital image processing techniques for the virtual reconstruction of widely known works of fine art. Firstly, it is the Interpolation Method of Sequential Computation of the Fourier spectrum (IMSCS) that allows you to retouch and restore the missing (shaded) parts of the image. Secondly, these are the methods of increasing the images contrast (converting the dynamic range of brightness), such as Dark Channel Prior (DCP) with

statistically determined parameters (DCPS), and a combination of DCPS with the CLAHE method (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization). The offered methods of digital virtual reconstruction of works of art are based exclusively on a scientific campaign; they use only the data that is available as initial data (the image itself is a subject for restoration). Therefore, they are free from the human factor, because of which, changes in the restored image can be made subjectively. If there is no preserved true image of the restored object, then, no doubt, the adequacy of the reconstruction to the original can be considered only suppositive. Of course, one should keep in mind that the use of any technology, including digital, must be done with an understanding of the basic principles of their work. The methods we proposed, together with other studies (X-rays and ultraviolet), can be very useful to specialists in restoration. Such an expansion of the capabilities will allow the restorer to work on the natural object, taking into account both the considerations of a priori information and his practical experience in order to carry out the required reconstruction more correctly. The presented results indicate a significant increase in the quality of digital images (increase of informativeness), which can serve as an auxiliary tool for restorers when refining the algorithm of their actions.

Key words: restoration, interpolation, retouching and restoration of images, increasing the discernibility of small details.

1. Введение

Практически любая область деятельности современного человека немислима без применения компьютерных технологий. В настоящее время реставраторы применяют их от оцифровки произведений искусства (в том числе 3D-сканировании объёмных объектов) до виртуальной реконструкции, как скульптур, так и живописи (в том числе икон и фресок).

Создаются базы данных, программные и аппаратные средства облегчающие и совершенствующие методы реставрации и музейного хранения памятников культуры и искусства. Накопленная таким образом цифровая информация доступна и может быть оперативно повторно использована. Всё

это сокращает сроки и стоимость реставрационных работ, что всегда является актуальным.

Считается, что достоверность воссозданного образа живописи или архитектуры находится в прямой зависимости от работы исследователя, то есть реставраторы опираются на архивные и музейные источники как на материал для исторической реконструкции модели наиболее соответствующей действительности. Примером может служить случай с реставрацией фресок Андреа Мантенья капеллы Оветари (Ovetari) церкви Эремитани (Eremitani) в Падуе разбитые в результате бомбардировки американской авиации 11 августа 1944 года. Реконструкция производится по рисунку созданному на основе априорной довоенной информации (набор фотографий). Сначала (в 1947 году) проводилась «традиционная» работа (собираение «пазлов») непосредственно на основе массы собранных фрагментов, но в последствии, когда все наиболее удобные для распознавания и «ручной» работы фрагменты закончились, остальные частицы были оцифрованы и с 2001 года до 2003 года подбирались с помощью метода, разработанного в университете г. Падуи отделением физики имени Галилео Галилея, предполагающего использование компьютерной технологии для ориентации крупного фрагмента с отчетливой частью рисунка, относительно полноцветной копии восстанавливаемой фрески. Были локализованы 789 фрагментов из первой сцены "Святой Джакомо перед Ероде" и 437 из второй сцены "Поход к страданию Святого Джакомо". Этот результат сопоставим с реставрацией фресок в Капелле Оветари, выполненной с 1947 году традиционной техникой [1].

Отечественные реставраторы тоже используют информационные технологии для своей работы. Программное обеспечение, разработанное для работы с фресками церкви Успения на Волотовском поле, позволяет выделить из массы небольших фрагментов (средний размер штукатурки с живописью Успенской церкви от 1 до 6 см²) те пары, которые вероятнее всего могут стыковаться друг с другом, при этом хранение изображений в электронном виде позволяет стыковать фрагменты бесконтактно, не разрушая изломы

боковых граней. На сегодняшний день в мастерской художников-реставраторов Научно-реставрационной мастерской «Фреска» в работе находятся более 30 композиций Успенской церкви. Наиболее полно подобрана живопись предапсидной арки [2].

Таким образом, очевидно что недостатками традиционных «ручных» методов подобных реконструкций является то, что кроме огромной трудоёмкости и длительности работы, во время подбора фрагменты постоянно подвергаются механическому воздействию, что неминуемо ведёт к их дальнейшему разрушению. Компьютерные технологии позволили использовать для стыковки фрагментов не только информацию о контуре фрагментов, но и о распределении цвета по поверхности, векторе мазка (если он имеется), а также результаты проведенных расчетов по стыку фрагментов.

Однако все известные нам компьютерные методы, в том числе и по трёхмерной реконструкции не только отдельных объектов, но и архитектурных ансамблей, используют либо достоверную априорную информацию о том каким был объект реставрации до повреждения, либо восстановление производят на основании информации о подобных объектах и тогда воссозданный объект можно считать достоверным лишь в некотором приближении.

В случае невозможности найти достоверное изображение реставрируемого объекта до повреждения возникает проблема адекватности оригиналу полученного результата. Нами предлагается метод интерполяции последовательного вычисления спектра Фурье (МИПВС) [3], позволяющий ретушировать и восстанавливать отсутствующие (затенённые) части изображения. В отличие от линейной интерполяции МИПВС можно использовать при любой форме отсутствующей части изображения. Ретуширование и восстановление МИПВС изображение может дать хорошие результаты даже при значительной доле отсутствующего изображения. Предложенная нами методика не требует никакой априорной информации о том каким было реставрируемое изображение до повреждения. Информация

берётся непосредственно из исходного спектра повреждённого объекта. Заполнение отсутствующей части изображения делается итерационно (от нулевой пространственной частоты до наивысшей пространственной частоты) на основе спектра присутствующей части изображения [3].

Кроме МИПВС для реставрации можно использовать и другие методы цифровой обработки изображений. При потемнении, изменении оттенка и цвета, понижения насыщенности цвета, прежде чем проводить работы непосредственно на объекте, нами предлагается провести виртуальную реконструкцию произведений изобразительного искусства. Для этого будем применять модернизированные способы улучшения различимости мелких деталей на изображениях при наличии атмосферных образований, которые мы используем в задачах радиовидения и аэрокосмического мониторинга, а так же при обработке медицинских изображений.

Первым из таких подходов может быть разработанная нашей группой модернизация метода Dark Channel Prior (DCP) [4 - 9] - Dark Channel Prior Statistics (DCPS) [10, 11]. Мы предполагаем, что искажение изображения гидрометеорами можно описать как сумму двух коррелированных факторов – поглощение излучения, идущего от объекта, и подсветка рассеянным излучением атмосферы. При определении параметров мы используем статистический способ исходя непосредственно из анализа исходных изображений при условии выполнения ряда предположений [10, 11].

Вторым подходом может быть применение комбинации метода CLANE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [12] и DCPS. Методология CLANE является развитием широко известного подхода выравнивания гистограмм изображений (Histogram Equalization), она увеличивает глобальный контраст изображения, что позволяет областям более низкого локального контраста получить более высокий контраст, и избавлена от недостатка классической эквализации, которая в некоторых случаях может увеличить контраст фонового шума, при этом уменьшая полезный сигнал.

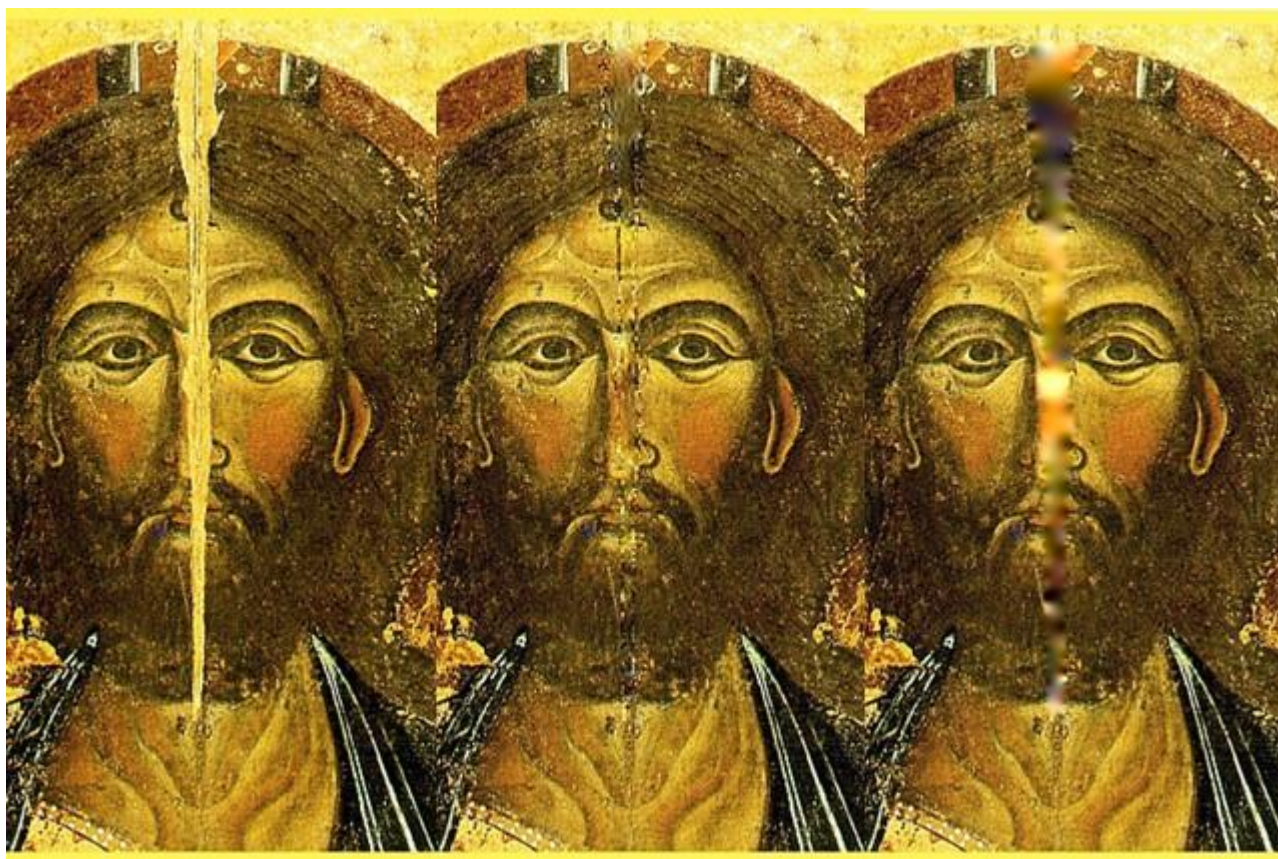
Предлагаемые методы обработки протестированы в системе компьютерной алгебры Mathcad-15, и реализованы в среде визуального программирования Delphi.

2. Результаты виртуальной реконструкции утерянной части изображения методом интерполяции последовательного вычисления спектра Фурье (МИПВС)

В методической литературе по практической реставрации [13] утверждается: «тонировки на местах утрат авторского красочного слоя произведения древнерусской темперной живописи имеют своей целью выявить первоначальное живописное решение памятника путём ослабления цветовой активности обнажённого авторского и реставрационного грунта - старого, сохранённого при раскрытии и нового, нанесённого при последней реставрации. Целью тонирования может быть и реконструкция утраченной детали изображения, без которой произведение не может восприниматься эстетически». При этом тут же замечается с пометкой «ВНИМАНИЕ!» что «Не подлежат реконструкции элементы изображения, ошибочные трактовки которых могли бы исказить первоначальное живописное решение или художественно-образную выразительность памятника. В подобном случае может быть допущено лишь восстановление общих цветовых пятен утраченной живописи без реконструкции деталей рисунка, если сохранившиеся элементы изображения дают возможность выполнить такое восстановление с объективной точностью. Но если такие признаки отсутствуют, реконструкцию памятника считают нецелесообразной».

В подобных случаях нами предлагается воспользоваться виртуальной цифровой реконструкцией объекта с помощью метода интерполяции последовательного вычисления спектра Фурье. Рис.1 демонстрирует работу МИПВС на конкретном примере восстановления утраченного фрагмента общеизвестной иконы «Господь Вседержитель» (первая половина XIII века) из Центрального музея древнерусской культуры и искусства имени Андрея Рублева (г.Москва). Рис.1(б) показывает достаточно высокое качество

виртуальной реконструкции отсутствующей части рис.1(а). В то же время известные виды интерполяции, применённые для заполнения утраченной области изображения, дают не более чем простую тонировку, что показано на рис.1(в) для интерполяции сплайном.



а

б

в

Рис. 1. Исходное изображение фрагмента иконы «Господь Вседержитель» (первая половина XIII века) из Центрального музея древнерусской культуры и искусства имени Андрея Рублева (г.Москва) - (а). Результаты обработки исходного изображения: метод интерполяции последовательного вычисления спектра Фурье (МИПВС) - (б). Результаты обработки исходного изображения: метод интерполяции сплайном - (в).

Заметим что само исходное изображение иконы (фрагмент которой здесь представлен) нами взято из интернета (источник: <http://canvart.club/mtmpic.html>), поэтому оно не самого высокого качества и относительно небольшого размера (660 на 495 пикселей), причём его цветовая и яркостная структура претерпела явные изменения в сторону осветления объекта, тем не менее, результат применения МИПВС вполне

удовлетворительный. Представленные здесь результаты не более чем предварительная демонстрация возможностей. Если же будет поставлена задача по виртуальной реконструкции какого-либо конкретного произведения культуры и искусства, то предварительная качественная оцифровка объекта и модификация методики непосредственно под исследуемый объект, несомненно, может дать значительно лучшие результаты.

3. Результаты повышения глобального и локальных контрастов у потемневших от времени произведений искусства адаптированными методами Dark Channel Prior Statistics (DCPS) и Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)

Как утверждается в методических указаниях по реставрации икон [13]: «Практически все пигменты под действием солнечной радиации претерпевают - хотя и в разной степени - те или иные изменения: потемнение, изменение оттенка и цвета, понижение насыщенности цвета. Обесцвечивание (выцветание) проявляется в уменьшении насыщенности цвета и особенно характерно для органических пигментов (индиго, краплака, баканов, шафрана). Процессы потемнения и изменения оттенка характерны для многих неорганических пигментов (киновари, свинцовых белил, свинцового сурика, аурипигмента). ... В большинстве случаев разрушения происходят при активном участии кислорода воздуха, причём скорость протекания этого процесса возрастает с повышением концентрации кислорода, попавшего в красочный слой. Так, неорганические пигменты изменяют оттенок и темнеют в большей степени в результате химической реакции с влагой воздуха... Если химическая реакция уже протекает, тепло от воздействия инфракрасных лучей всегда ускорит её. Пожелтение плёнок природного лака может быть прямым результатом воздействия этих лучей, тогда как плёнки искусственного лака обыкновенно к ним не чувствительны».

Таким образом, на основании знаний о физических процессах протекающих в лакокрасочных слоях старинных икон и картин можно сделать заключение о том каким собственно был первоначальный вид объекта

подлежащего реставрации. И прежде чем приступить к физическому воздействию на объект его необходимо всесторонне исследовать, в том числе провести виртуальную реконструкцию контрастов и цветности изображения.

Не всегда тот или иной метод исследований приводит к "хорошим" с точки зрения стороннего наблюдателя результату. Всё зависит от целей и задач которые перед собой ставит исследователь. Метод DCPS хорошо проявляет мелкие детали, вплоть до микротрещин на лакокрасочном покрытии. SLANE в определённой степени "осветляет" если не сказать обесцвечивает изображение и, если так можно выразиться, придаёт ему объёмность. Комбинация этих методов позволяет воспользоваться преимуществами обоих.

На рис.2(а) показано изображение "Портрет девочки в розовом", Неизвестный художник, из фондов Государственного Русского музея размером 682 на 872 пикселя (источник: <http://restoration.rusmuseum.ru/images/Best-restoration-2012--020.jpg>).



а

б



в

г

Рис.2. Исходное изображение "Портрет девочки в розовом", Неизвестный художник, из фондов Государственного Русского музея размером 682 на 872 пикселя - (а). Результат обработки исходного изображения: метод Dark Channel Prior Statistics (DCPS) - (б). Результат обработки исходного изображения: метод Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) - (в). Результат обработки исходного изображения: комбинация методов CLAHE и DCPS - (г).

В сопроводительной подписи указано: "Портрет нуждался в серьезной живописной реставрации, т.к. поверхность живописи сильно искажали одновременные потемневшие записи в местах утрат и повреждений красочного слоя, а главное – картину покрывал толстый слой сильно потемневшего ржаво-коричневого лака. Нижняя половина картины была частично расчищена во время предыдущей реставрации, но работа не была доведена до конца". Применение метода DCPS (рис.2(б)) успешно восстанавливает нижнюю проблемную часть картины, на ней просматриваются мелкие детали на платье. В то время как CLAHE (рис.2(в)), осветлив всё изображение, можно даже сказать виртуально открыв полотно от лака, тем не менее не улучшает качество проблемной части изображения - её нижняя часть

остаётся "размытой". Применение комбинации CLANE и DCPS (рис.2(г)) даёт и освещение с выравниванием, и восстановление чёткости мелких деталей изображения вплоть до микротрещин на лакокрасочном покрытии. Что касается того что цветовая гамма рис.2(г) указывает на остаточные проявления естественного цвета покрытия защитного лака, то, при необходимости, с этим эффектом поможет справиться операция типа цветовой калибровки.

Рассмотрим ещё пример: полотно «Покаяние Джейн Шор в церкви Святого Павла», создано в 1793 году Уильямом Блейком, Британская галерея Тейт, Лондон, источник цифрового изображения: <https://www.tate.org.uk/art/artworks/blake-the-penance-of-jane-shore-in-st-pauls-church-n05898>. Картина покрыта слоем потемневшего и пожелтевшего от времени лака изменившего эстетическое восприятие этого произведения - рис.3.



Рис. 3. Исходное изображение «Покаяние Джейн Шор в церкви Святого Павла», 1793 г. Уильям Блейк.

Применение к цифровому изображению рис.3 оптимизированного метода Dark Channel Prior Statistics (DCPS) не производит большого эффекта для визуального восприятия, поэтому здесь не приводится, но, вполне вероятно оно, совместно с другими исследованиями (рентген и ультрафиолет) может пригодиться специалистам по реставрации при детальном рассмотрении.



Рис. 4. Восстановленное методом Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) изображение рис.3.

В результате применения метода CLAHE - рис.4, изображение картины Уильяма Блейка, как и в предыдущем примере, приобретает больший по сравнению с исходным «объём». В этом случае все детали достаточно хорошо просматриваются. Можно даже сказать, что произошло виртуальное «открытие» картины. Хотя присутствует некоторая "размытость" в отдельных местах изображения. Относительно достоверности цветового баланса

(обесцвечивания и осветления) восстановленного изображения и оригинала можно судить только непосредственно проанализировав цвет слоя защитного лака.

Рис.5 демонстрирует результат применения комбинации методов CLANE и DCPS. Изображение одежды мужчин в этом случае становится значительно более насыщенным и ярким чем при применении только одного CLANE, мелкие детали хорошо просматриваются, никакого размытия нет. Как и в случае с рис.2(г) цветовая гамма, вероятно, указывает на проявления естественного цвета защитного лака и, при запросе со стороны реставраторов, с этим эффектом поможет справиться цветовая коррекция.



Рис. 5. Результат обработки исходного изображения рис.3: комбинация методов CLANE и DCPS.

4. Заключение

Предлагаемые нами методы цифровой виртуальной реконструкции произведений искусства основаны исключительно на научном походе, они используют в качестве исходных только те данные, которые есть в наличии (само изображение подлежащее реставрации). Поэтому они свободны от человеческого фактора, из-за которого субъективно могут быть внесены изменения в реставрируемое изображение. Если нет сохранившегося истинного образа реставрируемого объекта то, вне всяких сомнений, адекватность реконструкции оригиналу можно считать только условной. При этом, конечно, надо иметь ввиду то, что применение любой технологии, в том числе и цифровой, должно делаться с пониманием основных принципов их работы. Предложенные нами методы, совместно с другими исследованиями (рентген и ультрафиолет) могут быть весьма полезны специалистам по реставрации. Такое расширение своих возможностей позволит реставратору уже при реализации на натурном объекте, приняв во внимание, как соображения априорной информации, так и своего практического опыта, более корректно провести требуемую реконструкцию.

Представленные результаты свидетельствуют о существенном повышении качества цифровых изображений (повышения информативности), что может служить вспомогательным инструментарием для реставраторов при уточнении алгоритма своих действий.

Литература

1. Музеи России [электронный ресурс]. Новости Музеев: Восстановление фресок капеллы Оветари (Ovetari). 2003. Режим доступа: <http://www.museum.ru/N14688>
2. Анисимова Т. И., Зотов А. В., Поневаж В. П., Чумаков П. Ф. Использование компьютерной технологии при реставрации живописи XIV в. церкви Успения на Волотовом поле. Art Conservation мастерская [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://art-con.ru/node/477>

3. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. «Использование спектра Фурье изображения для ретуширования и восстановления отсутствующих частей искажённого аппаратной функцией изображения». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2016, №7, Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul16/4/text.html>
4. Bianco G., Muzzupappa M., Bruno F., Garciab R., Neumann L. A New Correction Method for Underwater Imaging. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2015, 5, pp.25-32.
5. Halmaoui H., Cord A., Hautière N. Contrast restoration of road images taken in foggy weatherю *2011 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*. 2011. P. 2057—2063
6. Tripathi A.K., Mukhopadhyay S. Removal of fog from images: A review. *IETE Technical Review*. 2012. Vol.29, № 2. P.148—156
7. Михайлюк Ю.П., Начаров Д.В. «Метод улучшения различимости объектов на цифровых изображениях, полученных в условиях недостаточной видимости». Журнал радиоэлектроники» [электронный журнал], № 6, 2015, Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jun15/4/text.htm>
8. Kaiming He, Jian Sun, Xiaoou Tang, Single Image Haze Removal Using Dark Channel Prior. *IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence*, Vol.33, No.12, December 2011, pp. 2341-2353
9. Kaiming He, Jian Sun, Xiaoou Tang. Final Project: Dark Channel Prior Haze Removal [электронный ресурс], 05.08.2012, Режим доступа http://students.cec.wustl.edu/~jwaldron/559/project_final
10. Кокошкин А.В., Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. «Метод улучшения различимости объектов при наличии гидрометеоров» Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2015. №10. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct15/7/text.pdf>
11. Коротков В.А., Новичихин Е.П. Компенсация искажений изображения, вызванных гидрометеорами, на основе статистических свойств яркости

изображения. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2017. №9.

Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/sep17/9/text.pdf>

12.Коротков В.А., Коротков К.В., Новичихин Е.П. «Модификация метода CLANE для компенсации влияния гидрометеоров». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №10. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct17/10/text.pdf>

13.Реставрация икон: Методические рекомендации. Под ред. М. В. Наумовой. Всероссийский художественный научно-реставрационный центр им. академика И. Э. Грабаря, 1993.

Для цитирования:

А. В. Кокошкин, В. А. Коротков, К. В. Коротков, Е. П. Новичихин. Применение методов цифровой обработки изображений для целей реставрации объектов изобразительного искусства. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 9. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/sep18/16/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2018.9.16