

**А. В. Корчилава, С. П. Ёлкин,
Д. С. Проскуратов**

Применение цифровых методов коррекции изображений для анализа объектов историко-культурного наследия

Введение

В настоящее время существует множество различных методов анализа объектов историко-культурного наследия¹. Такие исследования являются неотъемлемой частью работ по атрибуции произведений, их консервации и реставрации, а также способствуют выявлению неаутентичных артефактов. На первоначальном состоянии объекта могут сказываться механические, химические и прочие факторы, которые негативно отражаются на состоянии сохранности художественного произведения. Чтобы нивелировать последствия разрушительных воздействий, требуется вмешательство реставратора. Качество реставрационных работ напрямую зависит от полноты информации об объекте. Далекое не всегда реставратор может оценить разрушения при помощи органолептических методов. Здесь на помощь приходят лабораторные исследования, которые позволяют выявить структурные изменения предмета.

В настоящий момент происходит активное развитие и внедрение лабораторных методов анализа объектов историко-культурного наследия. Такие методы позволяют получить информацию о структуре образца и «просмотреть» его

слоей за слоем. Тесная связь между достижениями в физике и научными работами с произведениями искусства дала возможность глубже проводить реставрационные исследования². Благодаря использованию широкого диапазона электромагнитных волн и визуализации структуры объекта аналитики находят скрытые дефекты на внутренних слоях, определяют состояние объекта, описывают историческую технологию, подтверждают или опровергают подлинность артефакта. Существует широкий выбор среди инвазивных и неинвазивных методов анализа, причем особое внимание уделяется последним, поскольку такой подход позволяет получить информацию без отбора проб, следовательно, не требует вмешательства в структуру образца³. Такие исследования позволяют определить дефекты поверхностных слоев, лака и грунта, ранние реставрационные вмешательства, разрывы и утраты основы, а также позволяют идентифицировать подготовительный рисунок, выполненный углеродсодержащим пигментом, определить авторскую манеру.

Традиционно сделанные рентгенографические снимки изучались исследователем визуально. В этой ситуации серьезной помехой, затрудняющей работу специалиста, был недостаточный уровень детализации изображения, получаемого с помощью рентгеновского излучения. Мелкие детали не были заметны глазу, не обладали достаточной контрастностью и разрешением. Включение в этот процесс цифровой обработки рентгеновского изображения открывает возможности для существенного улучшения его качества и повышения его информативности. В настоящей статье тестируется ряд инструментов численной обработки применительно к рентгеновским изображениям с целью дальнейшего развития и совершенствования метода рентгенографии.

Эксперимент

Эксперимент проводился на базе лаборатории технико-технологических исследований отдела научно-технологической экспертизы Государственного Эрмитажа. В качестве образца была использована картина «Натюрморт с утками» неизвестного художника XIX в. (рис. 1).

Исследование проводилось на рентгеновской установке с генератором ERESKO 200 MF4-RW. Оцифровка проводилась с помощью сканера Epson Expression 1000XL (разрешение сканера: 2400×4800). Результаты представлены на рис. 2.

Для цифровой обработки полученных изображений был использован программный продукт Matlab. Пакет функций библиотеки Image Processing Toolbox обладает необходимым набором встроенных операций, которые реализуют методы обработки изображений.

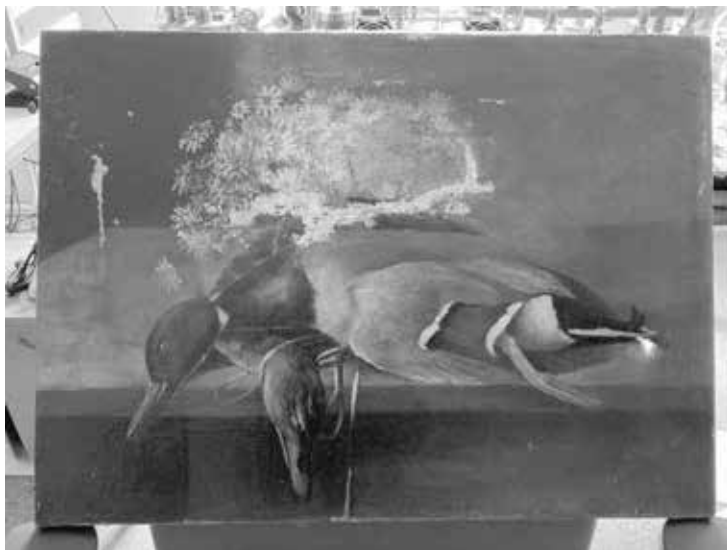


Рис. 1. «Натюрморт с утками», неизвестный художник, XIX в.



а



б

Рис. 2. Изображения исследуемой картины «Натюрморт с утками»: а — фрагмент оригинала картины; б — рентгеновское изображение фрагмента картины

Теоретические основы рентгенографии

Метод применения рентгеновского излучения позволяет выявить внутренние особенности, детали, трещины, коррозию и предыдущие работы по восстановлению, которые могли остаться незамеченными⁴. Особенность рентгенографии заключается в чувствительности к элементному составу исследуемого материала⁵. Технология применения метода рентгенографии является универсальным инструментом, который используют для широкого спектра различных материалов, из которых состоят объекты историко-культурного наследия.

Чтобы иметь представление о методе применения рентгенографии, необходимо учесть теоретические аспекты рентгеновского излучения. Пакеты таких электромагнитных волн проявляются на низких частотах, обладают высокой энергией в диапазоне от нескольких кэВ до МэВ. В данном эксперименте источником рентгеновского излучения являлась рентгеновская трубка. На трубку подается высокое напряжение, значение которого зависит от исследуемого объекта: картины (кВ): 10–50, скульптуры и металлические предметы (кВ): 50–300. В данном эксперименте использовалось напряжение 40 кВ. Далее при нагревании нити внутри трубки создается вакуум, в котором электроны приобретают стремительное ускорение к металлическому аноду. Электроны фокусируются на аноде, и затем претерпевают торможение на его поверхности. При этом испускается так называемое тормозное рентгеновское излучение, используемое для просвечивания объектов, как представлено на рис. 3.

Для фотографической фиксации изображения пользуются специализированными пленками, на которых образуется теневое изображение структуры образца.

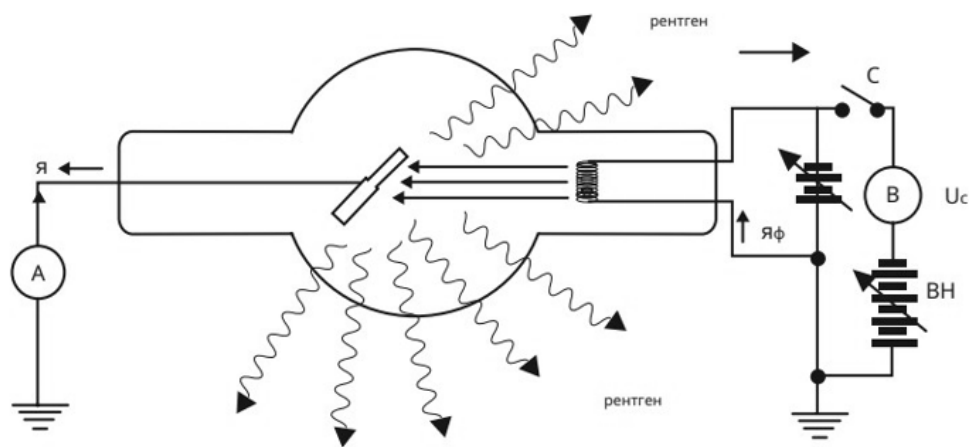


Рис. 3. Схема устройства рентгеновской трубки

Важным аспектом в рентгенографическом исследовании является значение подаваемого анодного напряжения. Если напряжение слишком низкое для толщины слоя белил, в деталях передаются лишь самые тонкие слои, в то время как толстые отображаются нечетко и выглядят на снимке белыми, практически без градаций серого цвета. При выборе слишком высокого анодного напряжения тонкие слои выглядят темными и малоконтрастными⁶.

Коэффициент поглощения атома μ_{at} для рентгеновского излучения с длиной волны λ имеет выражение:

$$\mu_{at} = c\lambda^3 Z^4,$$

где c — константа, Z — порядковый номер (заряд ядра) атома в таблице Менделеева.

Из приведенного выражения видно, что поглощение прямо пропорционально зависит от величины атомного номера и от длины волны. При постоянной длине волны, т. е. постоянном анодном напряжении, участки материала с преимущественно тяжелыми элементами (на картине это прежде всего краски на основе свинца $Z(\text{Pb}) = 82$) будут отображаться более светлыми, так как поглощают рентгеновское излучение лучше, чем участки с относительно легкими элементами. На рентгеновской пленке получается контрастное изображение в градациях серого цвета. После получения рентгеновского изображения зачастую можно получить некоторую информацию без первичной обработки. На рентгеновском снимке могут быть заметны различия типов авторского холста. В случае реставрационной процедуры под названием «дублирование», когда на оригинальный холст сзади наклеивается новый, авторский холст закрыт и не просматривается. Благодаря нанесению художником относительно толстого, сильно поглощающего излучение слоя грунта структура авторского холста наглядно отображается на снимке. Толщина нанесения грунта меняется в соответствии с неровностями холста, что проецируется на рентгеновское изображение в виде затемнения разных участков. Такая информация может послужить важным условием для определения подлинности картины или ее состояния. Изображения слоя белил, имеющего высокий контраст на рентгеновском снимке, может дать уникальную информацию об элементах индивидуальной техники художника, эволюции первоначального замысла автора, различных исправлениях и композитных изменениях. В нашем случае на рентгеновском изображении (см. рис. 2, б) можно отчетливо заметить края подрамника картины и гвозди, которые держат холст. Однако наибольший интерес представляют темные пятна — дефекты и сама структура холста (волокну и их направления). Для извлечения большей информации проводится численная обработка полученного рентгеновского изображения, которое переводят в цифровой вид.

Введение в численную обработку

Численная обработка является эффективным методом анализа изображения. Методами фильтрации для улучшения и восстановления изображения можно получить требуемые для исследования улучшенные характеристики объекта⁷. Изображение может содержать зоны с минимальным уровнем яркости пикселей, такие элементы по своим физическим свойствам являются дефектами, так как в этих местах рентгеновское излучение проходит свободно, практически не поглощаясь никакими веществами. Поскольку дефекты могут иметь различное происхождение и находиться в разных слоях, они различаются между собой уровнем яркости, что усложняет задачу поиска⁸. Для эффективной работы с изображением от программы требуется устранить шумы, определить оптимальные настройки улучшения изображения и фильтрации.

На свойства полученного рентгеновского изображения оказывают влияние различные факторы. От величины значения подаваемого напряжения на источник излучения будет зависеть степень контрастности. При более высоком напряжении контрастность будет выше, но влияние рассеянного излучения будет увеличиваться, и тонкие элементы будут утеряны, при более низком — диапазон градации серого цвета увеличится, однако участки будут менее различимы между собой.

Резкостью определяется четкость выделения объектов на изображении. Чем точнее и тоньше выделены границы между элементами на изображении, тем эффективнее будут результаты анализа. Обратная величина в рентгенографии называется нерезкостью. Причины ее возникновения могут быть связаны с вибрационным движением сканируемого объекта или рентгеновской установки.

Разрешающая способность (РС) отвечает за передачу четкого разделения между мелкими однородными объектами. При недостаточности РС тонкие линии или мельчайшие элементы изображения будут слиты в один цветовой серый тон и незаметны при анализе. У РС есть градация, которая называется градационной разрешающей способностью (ГРС). Эта характеристика отвечает за количество оттенков серого на изображении (рис. 4).

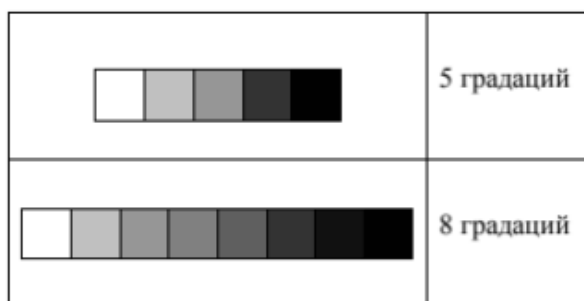


Рис. 4. Градационная шкала серого цвета

Восстановление и улучшение изображения сводится к решению задач в пространственной и частотной областях. Для разделения сигнала от картины, соединенного с шумами, моделируется искажающий оператор (рис. 5).

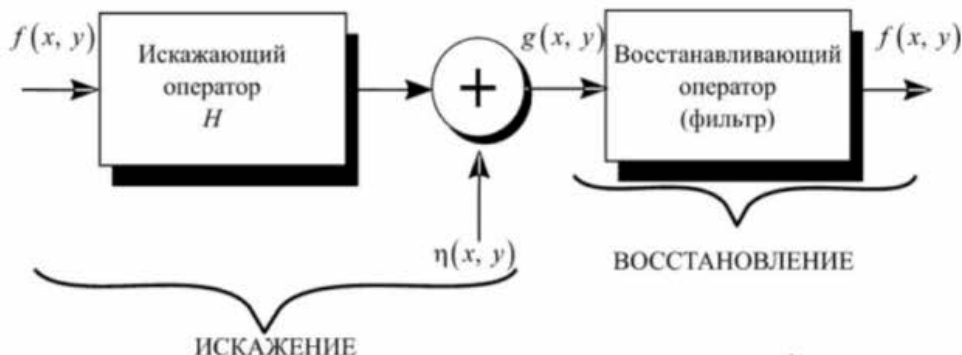


Рис. 5. Схема процессов искажения и восстановления изображения

На исходное изображение $f(x, y)$ с аддитивным шумом в виде функции $\eta(x, y)$ действует искажающий оператор H , после чего на полученное изображение $g(x, y)$ действует восстанавливающий оператор (фильтр) с целью построения максимального приближения к исходной функции $f(x, y)$ с учетом вычета действовавших шумов. Тогда искаженное изображение в пространственной области будет иметь следующую формулу:

$$g(x, y) = h(x, y)f(x, y) + \eta(x, y),$$

где $h(x, y)$ – функция искажающего оператора H в пространственной области, а действие $h(x, y)f(x, y)$ представлено в виде свертки («схожесть» одной функции с отраженной и сдвинутой копией другой)⁹.

В частотной области свертка эквивалентна умножению, тогда формула примет вид:

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(x, y),$$

где $G(u, v)$, $H(u, v)$, $F(u, v)$, $N(x, y)$ – Фурье-образы функций.

Технологии улучшения и восстановления рентгеновских изображений

Для качественного анализа рентгеновского изображения требуется численная обработка с целью улучшения изображения. К ней относят пространственную фильтрацию, пороговую обработку, работу с гистограммами, контрастностью и резкостью изображения. Процессы пространственной обработки описываются следующим уравнением:

$$g(x, y) = T[f(x, y)],$$

где $f(x, y)$ – входное изображение, $g(x, y)$ – полученное изображение, а T – оператор над f из окрестности точки (x, y) ¹⁰. Процесс действия оператора при переходе по каждой координате изображения показан на рис. 6.



Рис. 6. Окрестность точки (x, y) 3×3 на координатной плоскости f

1. Преобразования яркости и контраста

Функция преобразования яркости в общем виде имеет вид:

$$s = T(r),$$

где s — значение, которое принимает пиксель после преобразования оператором T над исходным значением r .

Контраст регулирует разницу между наиболее темными и светлыми участками изображения. Изменяя степенной параметр, можно управлять контрастом. Формула такого преобразования имеет вид:

$$S = \frac{1}{1 + \left(\frac{m}{r}\right)^E},$$

где значение m является параметром яркости, E — константа наклона кривой (рис. 7)¹¹.

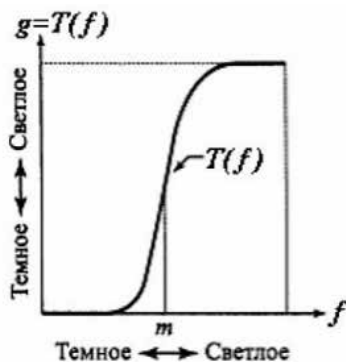


Рис. 7. График степенного преобразования контраста изображения

На контрастность изображения можно влиять эквализацией гистограммы. Ее задача сводится к автоматическому нахождению функции преобразования изображения через получение равномерной гистограммы. Эквализация сглаживает значения пикселей с отличными значениями яркости в заданном диапазоне, выравнивая плотность распределения вероятностей уровней контраста. Эквализация гистограммы принимает вид:

$$s_k = (L-1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j),$$

где s_k — k -й уровень яркости пикселя выходного изображения, $p_r(r_j)$ — вероятность обнаружения пикселя со значением яркости r_j .

Для изучаемой картины были использованы операции по растяжению контрастности и эквализации гистограмм, которые были применены как к исходному, так и к контрастному изображению.

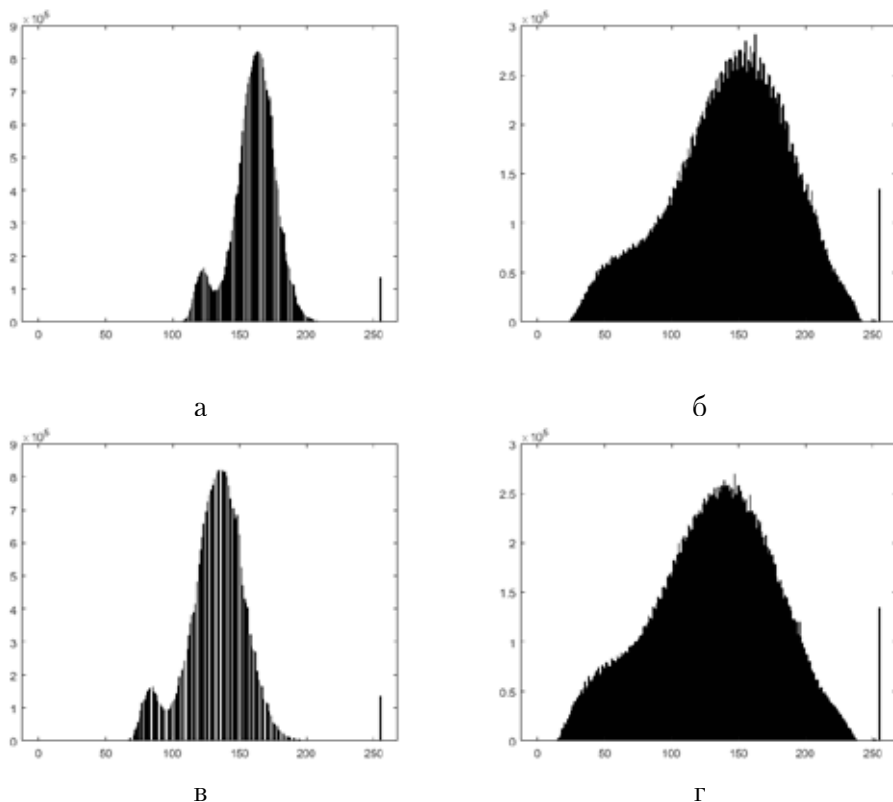


Рис. 8. Технологии улучшения и восстановления рентгеновских изображений: а — гистограмма исходного изображения; б — эквализация гистограммы исходного изображения; в — гистограмма контрастного изображения; г — эквализация гистограммы контрастного изображения

Эквализация контрастного изображения благодаря растяжению контрастности уравнивает значения уровней яркости пикселей гораздо эффективнее, чем при эквализации исходного изображения. На рис. 9 представлены результаты после обработки.

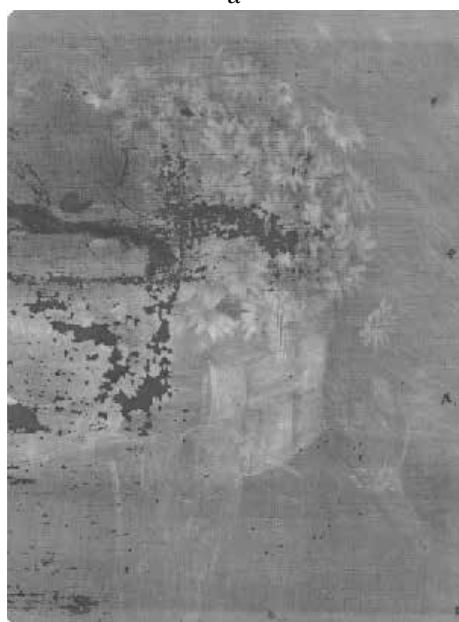
Применение эквализации выделяет полноценный сюжет картины. Можно наблюдать контуры мелких деталей, линии направления кисти, особенности стиля художника. Стоит также обратить внимание на более четкий переход на границах между элементами при эквализации контрастного изображения, что может повысить качество исследования изображения (рис. 9, б и г).



а



б



в



г

Рис. 9. Изображения до и после обработки: а — исходное изображение; б — эквализация гистограммы исходного изображения; в — контрастное изображение; г — эквализация гистограммы контрастного изображения

2. Методы частотной фильтрации для улучшения и восстановления

В основе применения частотной фильтрации лежит Фурье-преобразование. Порядок заключается в моделировании Фурье-образа изображения, а затем реализации обратного преобразования.

Общая формула частотной фильтрации для исходного изображения $f(x, y)$ будет выглядеть следующим образом:

$$g(x, y) = \mathfrak{F}^{-1} [H(u, v)F(u, v)],$$

где $F(u, v)$ — двумерное дискретное преобразование Фурье входного изображения $f(x, y)$, $H(u, v)$ — функция фильтрации изображения, \mathfrak{F}^{-1} — обратное дискретное преобразование Фурье, $g(x, y)$ — выходное изображение после фильтрации.

Используя фильтр $H(u, v)$ для пропускания высоких или низких частот, можно управлять резкостью изображения или сглаживать его. В данной работе был рассмотрен Гауссов фильтр как наиболее распространенный аналоговый фильтр.

Сглаживание изображения частотной фильтрацией основано на использовании фильтра низких частот. Идеальный фильтр низких частот использует влияние на пиксели за счет воздействия на них окрестностью фильтра с радиусом D_0 . Значение D_0 является частотой среза, при котором частоты либо пропускаются, либо отсекаются, в зависимости от их значений. Функция такого фильтра задается следующим образом:

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, D(u, v) \leq D_0 \\ 0, D(u, v) > D_0 \end{cases},$$

где $D(u, v)$ — расстояние от центральной точки действия частотного прямоугольника до точки с координатами (u, v) .

Такой фильтр является симметричным относительно центральной точки и каждый элемент, попадающий в радиус действия D_0 , проходит без изменений, а элемент, находящийся за его пределами, полностью подавляется (рис. 10).

Гауссов фильтр низких частот в двумерном представлении будет задаваться формулой:

$$H(u, v) = \exp\left(-\frac{D^2(u, v)}{2\sigma^2}\right),$$

где σ задает окрестность влияния радиуса Гауссова фильтра.

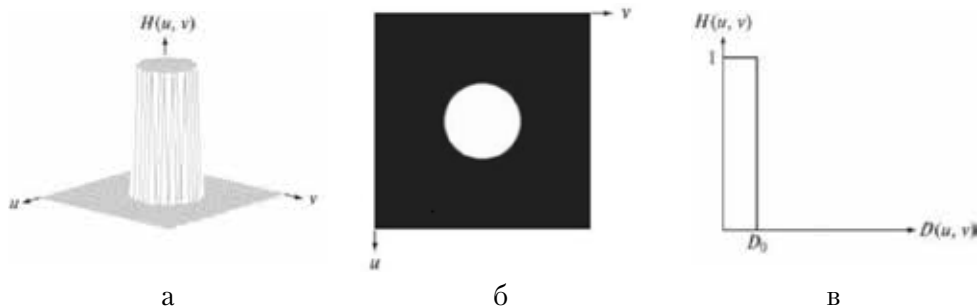


Рис. 10. Идеальный фильтр низких частот: а – 3D-модель функции действия идеального фильтра; б – 2D-модель функции действия идеального фильтра; в – график зависимости действия идеального фильтра от $D(u, v)$

На рис. 11 графически проиллюстрирован фильтр Гаусса.

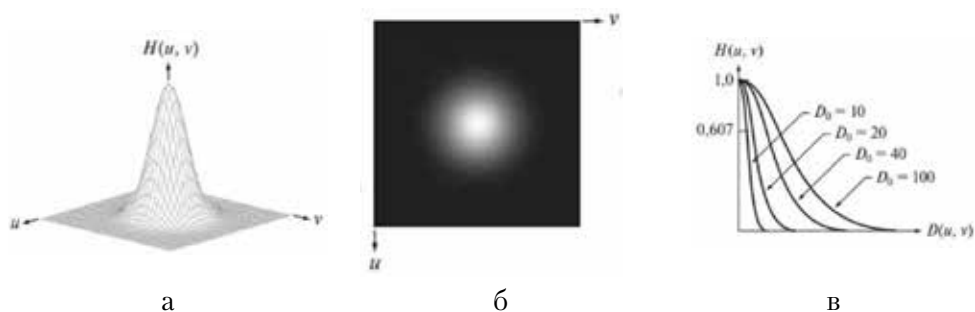


Рис. 11. Фильтр Гаусса низких частот: а – 3D-модель функции действия фильтра Гаусса; б – 2D-модель функции действия фильтра Гаусса; в – график зависимости действия фильтра Гаусса от $D(u, v)$

При повышении резкости в процессе частотной фильтрации при использовании фильтра Гаусса и идеального фильтра между пикселями увеличивается разрыв между уровнями яркости на изображении. Такое явление связано с подавлением низких частот изображения при помощи высокочастотных фильтров. Идеальный фильтр высоких частот задается так:

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & D(u, v) > D_0 \\ 0, & D(u, v) \leq D_0 \end{cases}$$

Иллюстрация действия такого фильтра будет иметь следующий вид (рис. 12).

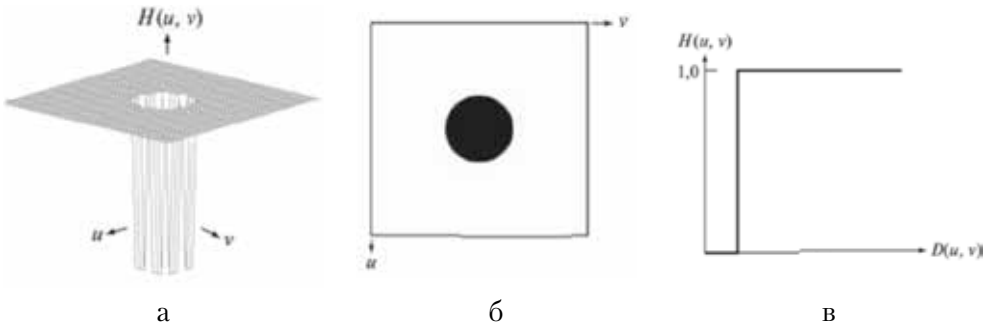


Рис. 12. Идеальный фильтр высоких частот: а – 3D-модель функции действия идеального фильтра; б – 2D-модель функции действия идеального фильтра; в – график зависимости действия идеального фильтра от $D(u, v)$

Гауссов фильтр высоких частот в двумерном представлении будет задаваться формулой, обратной низкочастотному фильтру (рис. 13):

$$H(u, v) = 1 - \exp\left(-\frac{D^2(u, v)}{2\sigma^2}\right).$$

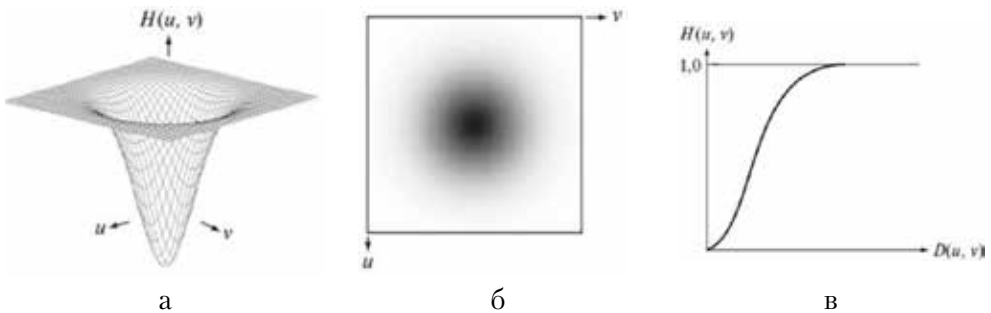


Рис. 13. Фильтр Гаусса высоких частот: а – 3D-модель функции действия фильтра Гаусса; б – 2D-модель функции действия фильтра Гаусса; в – график зависимости действия фильтра Гаусса от $D(u, v)$

При работе со сложными изображениями гораздо эффективнее применять именно фильтр Гаусса, так как с помощью него можно получать более детальное изображение. Метод частотной фильтрации для двух разных значений радиуса фильтра D_0 ($D_0 = 1$ и $D_0 = 100$) представлен на рис. 14.

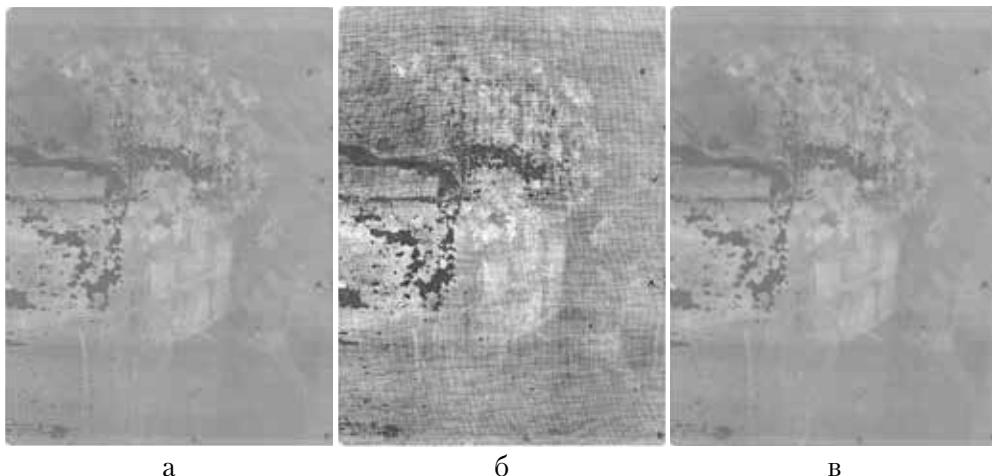


Рис. 14. Метод частотной фильтрации: а — исходное рентгеновское изображение; б — изображение после частотной Гауссовой фильтрации ($D_0 = 1$); в — изображение после частотной Гауссовой фильтрации ($D_0 = 100$)

Повышение резкости увеличивает количество резких перепадов между уровнями яркости пикселей (рис. 14, б), концентрируя внимание на мелких элементах изображения, что позволяет анализировать их значимость для общей концепции картины, а также способствует выявлению подлинности картины.

Задача сглаживания изображения состоит в снижении уровня влияния мелких деталей на общую картину, кроме этого, при сглаживании уровней перепадов яркости появляется возможность частичного устранения засвеченных и затемненных областей на изображении, что позволяет исследовать концепцию произведения эффективнее (рис. 14, в).

Заключение

В данной статье описаны различные методы цифровой обработки рентгеновских изображений. Такие методы позволяют решить ряд проблем, связанных с недостаточным уровнем детализации, контраста и разрешения.

С изображением, взятым в качестве образца, были проведены преобразования яркости, контраста, а также эквализация, благодаря чему выделяются контуры мелких деталей, линии, направления мазков автора, особенности стиля. Такие результаты помогут специалистам эффективнее решать задачи по выявлению подлинности картины. Также результаты исследования показали, что есть возможность улучшить такие параметры изображения, как видимость,

резкость, разрешающая способность, а также устранить шумы на изображении. Такие преобразования приведут к повышению эффективности проводимого анализа объекта.

Анализ результатов разработанной программы при численной обработке рентгеновских изображений реальной живописной картины показал, что программа способна улучшать качество изображения, преобразовывать участки, требующие обработки за счет фильтрации, а также очищать изображение от различных шумов. Стоит также отметить, что данная методика может быть реализована не только в рамках изучения картин, но и исторических объектов в целом.

- ¹ Литература по исследованию объектов историко-культурного наследия очень обширна. Приведем здесь лишь наиболее полные и широко известные работы: Технология и исследование произведений станковой и настенной живописи / Под ред. Ю. И. Гренберга. М., 2000; *Косолапов А. И.* Естественные методы в экспертизе произведений искусства. СПб., 2010.
- ² *Артемьев Б. В., Артемьева О. Б.* Использование методов НК для сохранения памятников культуры // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сборник статей 6-й Международной научно-технической конференции. Могилев, 2017. С. 40–47.
- ³ *Ковальчук М. В., Яцишина Е. Б., Благов А. Е.* [и др.] Рентгеновские и синхротронные методы в исследованиях объектов культурного наследия // Кристаллография. 2016. Т. 61. № 5. С. 681–690.
- ⁴ *Morigi M. P., Casali F.* Radiography and computed tomography for works of art // Handbook of X-ray Imaging. Boca Raton, 2017. P. 1185–1210; *Creagh D. C., Bradley D.* Physical techniques in the study of art, archaeology and cultural heritage. Amsterdam, 2014. P. 100.
- ⁵ *Бартенева Ю. В., Петрикеева Е. Н., Изотова Е.* Комплексный подход к изучению живописи // Коллекция гуманитарных исследований. 2018. С. 42–50.
- ⁶ *Косолапов А. И.* Научно-техническая экспертиза произведений искусства в Государственном Эрмитаже // В мире неразрушающего контроля. 2018. Т. 21. № 4. С. 4–13.
- ⁷ *Логшов В. Н., Щитанов К. А., Лавров В. В.* Сравнительный анализ методов поиска объектов на полутонном изображении и выбор наиболее подходящего метода при разработке программы обработки изображений // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ'2018). Екатеринбург, 2018. С. 458–466.
- ⁸ *Бутенко В. В.* Особенности применения фильтров обработки изображений перед поиском объектов на изображениях // Технические науки: теория и практика: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2016 г.). Чита, 2016. С. 1–3.
- ⁹ *Костенко А. Ю., Ковалев И. С.* Программа восстановления размытых и расфокусированных изображений // Вестник молодежной науки России. 2020. № 3. С. 10.
- ¹⁰ *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М., 2012. С. 144.
- ¹¹ *Доля П. Г.* Методы обработки изображений. Ч. 1. Алгебраические методы обработки монохромных цифровых изображений: учеб. пособие. Харьков, 2013. С. 18.

References:

- ARTEM'EV B. V., ARTEM'EVA O. B. *Ispol'zovanie metodov NK dlya soxraneniya pamyatnikov kul'tury // Sovremennye metody i pribory kontrolya kachestva i diagnostiki sostoyaniya ob'ektov: sbornik statej 6-j Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konferencii*. [The use of NC methods for the preservation of cultural monuments // Modern methods and devices for quality control and diagnostics of the condition of objects: collection of articles of the 6th International Scientific and Technical Conference. In Russ.]. Mogilev, 2017. P. 40–47.
- BARTENEVA Y. V., PETRIKKEVA E. N., IZOTOVA E. *Kompleksnyj podxod k izucheniyu zhivopisi // Kolleksiya gumanitarnyx issledovaniy*. [A comprehensive approach to the study of painting // Collection of Humanitarian studies. In Russ.]. 2018. P. 42–50.
- BUTENKO V. V. *Osobennosti primeneniya fil'trov obrabotki izobrazhenij pered poiskom ob'ektov na izobrazheniyax // Texnicheskie nauki: teoriya i praktika: materialy III Mezhdunar. nauch. konf. (g. Chita, aprel' 2016 g.)*. [Features of using image processing filters before searching for objects in images // Technical sciences: theory and practice: Proceedings of the III International Scientific Conference. In Russ.]. Chita, 2016. P. 1–3.
- DOLYA P. G. *Metody obrabotki izobrazhenij. Ch. 1 Algebraicheskie metody obrabotki monoxromnyx cifrovyx izobrazhenij: ucheb. posobie*. [Image processing methods. Part 1 Algebraic methods of processing monochrome digital images: a textbook. In Russ.]. Kharkov, 2013.
- GONSALES R., VUDS R. *Cifrovaya obrabotka izobrazhenij*. [Digital image processing. In Russ.]. Moscow, 2012.
- CREAGH D. C., BRADLEY D. *Physical techniques in the study of art, archaeology and cultural heritage*. Amsterdam, 2014.
- KOSOLAPOV A. I. *Estestvenno-nauchny'e metody v e'kspertize proizvedenij iskusstva*. [Natural science methods in the examination of works of art. In Russ.]. St. Petersburg, 2010.
- KOSOLAPOV A. I. *Nauchno-texnicheskaya e'kspertiza proizvedenij iskusstva v Gosudarstvennom E'mitazhe // V mire nerazrushayushhego kontrolya*. [Scientific and technical expertise of works of art in the State Hermitage Museum // In the world of non-destructive control. In Russ.]. 2018. P. 4–13.
- KOSTENKO A. Yu., KOVALEV I. S. *Programma vosstanovleniya razmytyx i rasfokusirovannyx izobrazhenij // Vestnik molodyozhnoj nauki Rossii*. [The program of restoration of blurred and defocused images // The juvenile Russian science herald. In Russ.]. 2020. S. p.
- KOVAL'CHUK M. V., YACISHINA E. B., BLAGOV A. E. [et al.]. *Rentgenovskie i sinxrotronny'e metody v issledovaniyax ob'ektov kul'turnogo naslediya // Kristallografiya*. [X-ray and synchrotron methods in research of cultural heritage objects // Crystallography. In Russ.]. 2016. P. 681–690.
- LOGINOV V. N., SHHIPANOV K. A., LAVROV V. V. *Sravnitel'nyj analiz metodov poiska ob'ektov na polutonovom izobrazhenii i vybor naibolee podxodyashhego metoda pri razrabotke programmy obrabotki izobrazhenij // Teplotexnika i informatika v obrazovanii, nauke i proizvodstve (TIM'2018)*. [Comparative analysis of object search methods on a grayscale image and selection of the most appropriate method when developing an image processing program // Heat engineering and informatics in education, science and production (TIM'2018). In Russ.]. Ekaterinburg, 2018. P. 458–466.
- MERKUR'EV S. V. *Metody podavleniya shuma cifrovyx rentgenogramm* [Methods of noise suppression of digital radiographs. In Russ.] // Biotexnosfera. 2010. P. 9–15.
- MORIGI M. P., CASALI F. *Radiography and computed tomography for works of art // Handbook of X-ray Imaging*. Boca Raton: CRC Press, 2017. P. 1185–1210.
- Texnologiya i issledovanie proizvedenij stankovoj i nastennoj zhivopisi*. [Technology and research of easel and wall paintings. In Russ.] / Pod red. Yu. I. Grenberga. Moscow, 2000.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

А. В. Корчилава, С. П. Ёлкин, Д. С. Проскуратов. Применение цифровых методов коррекции изображений для анализа объектов историко-культурного наследия // Петербургский исторический журнал. 2022. № 4. С. 145–163

Аннотация: В статье описывается реализация программы цифровой обработки по улучшению и восстановлению изображений музейных и архивных объектов, полученных с помощью неинвазивных методов исследования. Каждый объект хранит множество информации, и до внедрения лабораторного подхода к исследованию исторических предметов получить ее можно было только с помощью атрибуции, т. е. стилистического анализа, где экспертизу проводит квалифицированный историк искусства на глаз. Данный метод имеет множество недостатков, таких как человеческий фактор, поскольку главным инструментом исследования для атрибуции является глаз, а базой данных — комплекс знаний и сведений, теоретической и практической подготовки конкретного специалиста. Стремление к решению подобных проблем привело к необходимости развития и совершенствования лабораторных методов анализа для дальнейших работ по исследованию, восстановлению и сохранению музейных объектов для будущих поколений. В данной работе проводилось рентгенографическое исследование частной картины неизвестного художника на базе лаборатории научной реставрации Государственного Эрмитажа. Полученные в ходе таких исследований изображения позволяют заглянуть во внутреннюю структуру образца и просмотреть стратиграфию картины слой за слоем: обнаружить внутренние дефекты, требующие реставрации, предыдущие зарисовки автора или скрытые надписи и эскизы. Анализ полученных изображений после лабораторного сканирования имеет тот же недостаток, что и атрибуция, — человеческий фактор, который может повлиять на качество поиска особенностей произведения искусства и дефектов на изображении. Практический смысл данной работы заключается в снижении влияния человеческого фактора на результаты исследования, оценки автоматизации процесса диагностики и получения информации за счет численной обработки: она дает улучшение, восстановление и детализацию фрагментов изображения.

Ключевые слова: рентгенография, цифровая обработка, контраст, яркость, эквализация, фильтрация, улучшение изображение, восстановление изображения.

FOR CITATION

A. V. Korchilava, S. P. Elkin, D. S. Prokuratov. Application of digital image correction methods for the analysis of historical objects and cultural heritage // Petersburg Historical Journal, no. 4, 2022, pp. 145–163

Abstract: The article describes the implementation of a digital processing program to improve and restore images of museum and archival objects obtained using non-invasive research methods. Each object stores a lot of information, and before the introduction of a laboratory approach to the study of historical objects, it could only be obtained by attribution, that is, stylistic analysis, where the examination is carried out by a qualified art historian “by eye”. This method has many disadvantages, such as the human factor, since the main research tool for attribution is the eye, and the database is a complex of knowledge and information, theoretical and practical training of a particular specialist. Efforts to solve such problems have led to the need to develop and improve laboratory methods of analysis for further research, restoration and preservation of museum objects for future generations. In this work, an X-ray study of a private painting by an unknown artist was carried out on the basis of the laboratory of scientific restoration of the State Hermitage Museum. The images obtained during such studies allow you to look into the internal structure of the sample and view the stratigraphic picture layer by layer: to detect internal defects requiring restoration, previous sketches of the author or hidden inscriptions and sketches. The analysis of the obtained images after laboratory scanning has the same disadvantages as attribution — a human factor that can affect the quality of the search for the features of the work of art and defects in the image. The practical meaning of this work is to reduce the influence of the human factor on the results of the study, automate the process of diagnosis and obtaining information through numerical processing: improvement, restoration and detailing of image fragments.

Key words: radiography, digital processing, contrast, brightness, equalization, filtering, image enhancement, image restoration.

Автор: Корчилава, Алина Вадимовна — младший научный сотрудник Санкт-Петербургского института истории РАН.

Author: Korchilava, Alina Vadimovna — Junior Research Assistant, St. Petersburg Institute of History, Russian Academy of Sciences.

E-mail: kor4ilava@itmo.ru

Автор: Ёлкин, Сергей Павлович — магистр Университета ИТМО.

Author: Elkin, Sergey Pavlovich — Master Degree Student, ITMO University.

E-mail: sip28@mail.ru

Автор: Прокуратов, Денис Сергеевич — младший научный сотрудник Государственного Эрмитажа.

Author: Prokuratov, Denis Sergeevich — Junior Research Assistant, State Hermitage Museum.

E-mail: denis.prokuratov@gmail.com