

Измерение параметров текстуры изображений, полученных при направленном освещении

Д.М. Мурашов¹, А.В. Березин², Е.Ю. Иванова³

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Вавилова 42, Москва, Россия, 119333

²Государственный исторический музей, Красная площадь 1, Москва, Россия, 109012

³Российская академия живописи, ваяния и зодчества Ильи Глазунова, Мясницкая 21, Москва, Россия, 101000

Аннотация. Работа посвящена решению задачи подсчета количества нитей на изображениях холстов картин, что необходимо для определения характеристик, используемых искусствоведами для датировки произведений живописи. Исходная задача формулируется как задача анализа параметров текстуры изображений. Для анализа изображений образцов использовались предложенные модификации известного подхода, основанного на частотной фильтрации и пороговой бинаризации. Особенности исследования являются использование изображений, полученных фотосъемкой при направленном под острым углом по отношению к холсту освещении; метод пороговой бинаризации на основе критерия максимума взаимной информации и использование гистограмм для подсчета элементов текстуры, соответствующих нитям холста. Проведен вычислительный эксперимент по исследованию холстов картин русских художников XVIII века. Вычислительный эксперимент показал, что предложенные алгоритмы обеспечивают измерение плотности холста с точностью в пределах одной нити на сантиметр на 70-100 процентах изображений образцов. Полученные результаты соответствуют результатам известных алгоритмов измерения плотности холста по рентгеновским изображениям картин или изображениям, получаемым при контроле качества в текстильном производстве.

1. Введение

Одним из видов послойного исследования произведений живописи в атрибуции является определение производителя и датировка производства материала основы, в частности холста. Для этого необходимо измерить такие характеристики холстов, как максимальная плотность ткани по направлениям основы и утка, фактическая плотность, зернистость холста. Чтобы определить указанные характеристики, необходимо измерить диаметры нитей основы и утка, подсчитать количество нитей по двум направлениям и количество переплетений на единицу площади.

Обычно для определения плотности ткани по направлениям основы и утка эксперты выполняют подсчет количества нитей вручную. Эта операция достаточно трудоемка и сопровождается ошибками [1], особенно если нити достаточно тонкие. В последние несколько лет были разработаны автоматизированные алгоритмы вычисления характеристик холстов по рентгеновским (см. работы [2, 3] и ряд других работ этих авторов) изображениям. На

рентгеновских снимках виден «отпечаток» холста в грунте, а соответствующий нитям рельеф грунта хорошо просматривается из-за достаточно заметного поглощения излучения материалом грунта [4]. Задачу подсчета нитей можно рассматривать как задачу определения характеристик текстуры изображений.

В работах [5-7] предложена математическая модель переплетений нитей и разработан следующий полуавтоматический алгоритм определения плотности нитей на рентгеновских снимках холста на основе фильтрации в Фурье-области и анализа пиков Фурье-образа. Анализировались рентгеновские снимки картин Ван Гога. Алгоритм показал точность в пределах ± 0.5 нити/см на 84% исследуемых изображений и в пределах ± 1 нить/см на 95% изображений.

Если в качестве грунта при создании картины использовались свинцовые белила, то рентгеновские снимки не дают требуемой информации для анализа. В этом случае необходимо использовать изображения, полученные в видимом диапазоне спектра.

Для контроля плотности ткани в текстильном производстве разработан ряд алгоритмов на базе методов анализа изображений. В качестве входных данных используются фотографии, полученные при просвечивании участка ткани источником света [8]. Для подсчета количества нитей по основе и утку используется фильтрация в Фурье-области и бинаризация адаптивным алгоритмом Ниблэка [9]. Подсчет количества нитей выполняется вдоль выбранной базовой линии. Ошибка, полученная в эксперименте с 15 образцами трех видов ткани с различной плотностью, не превосходит одного процента. В работе [10] представлен метод определения плотности ткани на основе применения фильтров Габора для подсчета количества нитей. Метод позволяет определить плотность ткани с точностью порядка 90%. Методы анализа холста, основанные на просвечивании участка ткани источником света, неприменимы для анализа холстов картин, так как красочный слой непрозрачен.

В работе [17] предложен метод измерения характеристик продукции текстильного производства по изображениям, полученным в отраженном свете. Для выделения нитей основы и утка используется фильтр Винера и алгоритм бинаризации Отсу [15] с глобальным порогом. Точность подсчета количества нитей на шести образцах ткани различной структуры составила 5 процентов, а ошибка определения плотности не превосходила одной нити на сантиметр. Однако при использовании такого метода для определения характеристик холстов картин его точность снижается из-за искажения структуры холста просочившимся грунтом.

В представляемой работе решается задача разработки эффективных автоматических инструментальных средств текстурного анализа для определения плотности холста произведений живописи по изображениям, полученным с помощью цифровой камеры в видимом спектральном диапазоне. Отличительными особенностями предлагаемых процедур являются: (а) использование в качестве входных данных изображений, полученных съемкой при освещении, направленном под острым углом к холсту; (б) определение плотности по гистограммам измерений количества нитей, выполняемых по каждой строке/столбцу матрицы обработанного изображения; (в) разработанные процедуры предварительной обработки и пороговой бинаризации на основе информационного критерия качества.

2. Исследуемые изображения

В предлагаемом исследовании в качестве исходных данных предлагается использовать изображения холста, полученные фотосъемкой в направленном свете, что позволит подчеркнуть нити с требуемой пространственной ориентацией. Съемка производилась с расстояния 50 см при положении осветительного прибора, обеспечивающем падение света в диапазоне углов 10 – 30 градусов относительно плоскости картины снизу, сверху, слева и справа. Изображения холстов картин фиксировались цифровой фотокамерой NIKON D 7100 с объективом NIKON AF-S Micro NIKKOR 40mm 1: 2,8 G.

Следует отметить следующие основные факторы: нити различной толщины на одном образце, вариации толщины одной нити, наличие загрязнений, проникновение грунта, непараллельность нитей деталям подрамника. Неравномерное натяжение холста создает значительное искривление нитей и существенную неравномерность промежутков между нитями. Возможны

повреждения холста. Указанные обстоятельства затрудняют применение методов измерения плотности, созданных для контроля качества фабричной продукции [8, 10, 17], так как перечисленные особенности холстов картин порождают артефакты на обработанных изображениях, по которым производится подсчет количества нитей. Поэтому возникает необходимость разработки автоматических алгоритмов, позволяющих определять количество нитей холстов картин с приемлемой точностью. В следующем разделе предлагаются три алгоритма, разработанных для преодоления указанных выше трудностей.

3. Алгоритмы определения параметров текстуры

В данном разделе для подсчета количества нитей в образцах холста предлагается три алгоритма в рамках подхода, разработанного в работах [8, 17] на базе частотных методов анализа текстуры. Предлагаемые модификации методов [8, 17] учитывают особенности изображений, полученных при направленном освещении, а также наличие загрязнений, просачивания грунта и повреждений холстов картин. Модифицированные алгоритмы построены в предположении, что изображение холста имеет периодическую текстуру в направлениях основы и утка. Основная идея указанных алгоритмов заключается в том, чтобы подчеркнуть на изображении образца элементы текстуры, расположенные в определенном направлении, сегментировать изображения и подсчитать количество сегментированных объектов.

3.1. Выделение элементов текстуры

В работе [11] предложена математическая модель текстуры рентгеновского изображения холста, включающая две составляющие: периодическую, описывающую структуру холста, и составляющую, описывающую другие видимые в рентгеновских лучах слои картины (красочный слой, подрамник). Для исследуемых изображений, полученных в направленном свете, будем использовать аналогичную модель:

$$I(\mathbf{x}) = I_0 + I_p(\mathbf{x}) + n(\mathbf{x}) \quad (1)$$

где $I(\mathbf{x})$ - значение уровня серого тона в точке \mathbf{x} изображения с координатами (x, y) ; I_0 - смещение уровня серого тона, $I_p(\mathbf{x})$ - периодическая составляющая, моделирующая нити выбранного направления; $n(\mathbf{x})$ - периодическая функция, моделирующая переплетения нитей.

Далее будем проводить анализ на примере изображений, полученных при верхнем или нижнем освещении, направленном под острым углом к холсту. При подсчете количества нитей необходимо выполнить операции, минимизирующие составляющую $n(\mathbf{x})$ модели (1). Алгоритм должен включать этапы фильтрации, сегментации элементов текстуры, соответствующих нитям холста, и подсчета их количества.

На изображении холста (см. рисунок 1) видна периодическая текстура, которую можно приближенно описать моделью (1). Поэтому представляется целесообразным использовать для обработки частотные методы. Как и в работе [8] для выделения нитей с нужной ориентацией и диапазоном пространственных частот будет применена фильтрация в частотной области:

$$I_f(\mathbf{x}) = F^{-1}\{F\{I(\mathbf{x})\}I_M(\mathbf{x})\} \quad (2)$$

где $I_f(\mathbf{x})$ - отфильтрованное изображение, F и F^{-1} - прямое и обратное преобразование Фурье, $I_M(\mathbf{x})$ - маска фильтра. Перед фильтрацией выполняется операция эквализации гистограммы входного изображения. Результат фильтрации изображения образца холста картины (см. рисунок 1(а)) показан на рисунке 1(б). Маска фильтра показана на рисунке 1(в). Размер маски $(H/4+1) \times 3$ пикселей, где H - высота изображения образца. Маска размыта фильтром Гаусса с небольшим значением σ .

Далее на отфильтрованном изображении необходимо выделить объекты, соответствующие нитям.

3.2. Сегментация элементов текстуры

Для получения объектов, соответствующих нитям холста, результат фильтрации бинаризуется. Применялись три алгоритма бинаризации: глобальный алгоритм Отсу [15], локальный алгоритм Ниблэка [9] и алгоритм на основе информационного критерия.

3.2.1. Сегментация методом Отсу

Метод Отсу применялся в работе [17] для получения бинарных объектов, соответствующих нитям ткани. Метод позволяет найти значение порога, минимизирующее дисперсию внутри классов, на которые разбиваются пиксели входного полутонового изображения [15]. На рисунке 1(г) показано изображение горизонтальных нитей, бинаризованное методом Отсу и очищенное операцией эрозии. Алгоритмы бинаризации с глобальным порогом по методу Отсу не требуют настройки параметров. После бинаризации для удаления мелких бинарных объектов выполняется операция эрозии со структурирующим элементом размером 5×5 пикселей. Метод Отсу хорошо работает на изображениях с бимодальной гистограммой яркости, а в случае унимодальной гистограммы (см. рисунок 2 (г)) может дать некорректный результат.

3.2.2. Сегментация методом Ниблэка

Метод Ниблэка используется для определения значения порога в некотором окне изображения.

$$T_N = m + k_N \sigma_N,$$

где T_N - значение порога; m и σ_N - среднее значение серого тона и среднее квадратическое отклонение, вычисленные в скользящем окне; k_N - коэффициент. На рисунке 1(д) представлено бинарное изображение нитей, полученное после применения адаптивного алгоритма Ниблэка с размером окна 30×30 пикселей и операции эрозии. После бинаризации для удаления мелких бинарных объектов выполняется операция эрозии со структурирующим элементом размером 5×5 пикселей. Результат работы алгоритма на базе метода Ниблэка зависит от соотношения размера скользящего окна и элементов текстуры изображения. Поэтому на части изображений сегментация может быть неудовлетворительной. Алгоритм с локальной бинаризацией по методу Ниблэка требует настройки двух параметров.

3.2.3. Сегментация методом максимизации взаимной информации

В работе [12] предложен алгоритм подсчета текстурных элементов изображений холстов на основе локализации хребтов полутоновых изображений, который не требует пороговой бинаризации, но точность работы зависит от соотношения размеров структурирующих элементов применяемых морфологических операций и размеров текстурных элементов анализируемых изображений. Предпочтительно применять алгоритм, который не требовал бы настройки параметров, а также не зависел от формы гистограммы яркости анализируемых изображений. В данной работе предлагается метод, который выполняет операцию бинаризации с глобальным порогом, позволяющим получить максимальное информационное сходство между входным и бинаризованным изображениями. Так как предлагаемый метод будет использовать глобальный порог, то требуется обработка результата фильтрации $I_F(\mathbf{x})$, которая обеспечит корректный результат бинаризации. Для этого выполняется коррекция неравномерной освещенности на основе операции морфологического закрытия [13] со структурирующим элементом размером 11×11 пикселей.

Для определения глобального порога в качестве меры сходства будет использоваться взаимная информация. Рассматривается следующая модель системы бинаризации:

$$I_B = T(I_F, t), \quad (3)$$

где I_F и I_B - дискретные случайные переменные, описывающие входное (результат фильтрации (2)) и бинаризованное изображения; T - функция преобразования изображения; t - порог. Взаимная информация определяется выражением:

$$MI(I_F; I_B) = H(I_B) - H(I_B | I_F), \quad (4)$$

где $H(I_B)$ - энтропия выхода, $H(I_B | I_F)$ - условная энтропия выхода при условии, что на вход подано изображение I_F . Так как выход системы является бинарным изображением, то $H(I_B | I_F) = 0$. В этом случае максимум (4) достигается при максимальном значении энтропии выхода $H(I_B)$ в случае равной вероятности значений 0 и 255 бинарного изображения:

$$P(0) = P(255) = 0.5. \quad (5)$$

Таким образом, порог T в модели (3, 4) нужно выбирать так, чтобы обеспечить выполнение условия (5). Этот результат согласуется с методами бинаризации на основе максимума энтропии и минимума дивергенции Кульбека-Лейблера, описанными в обзоре [16]. Метод на основе критерия максимума взаимной информации не требует настройки параметров.

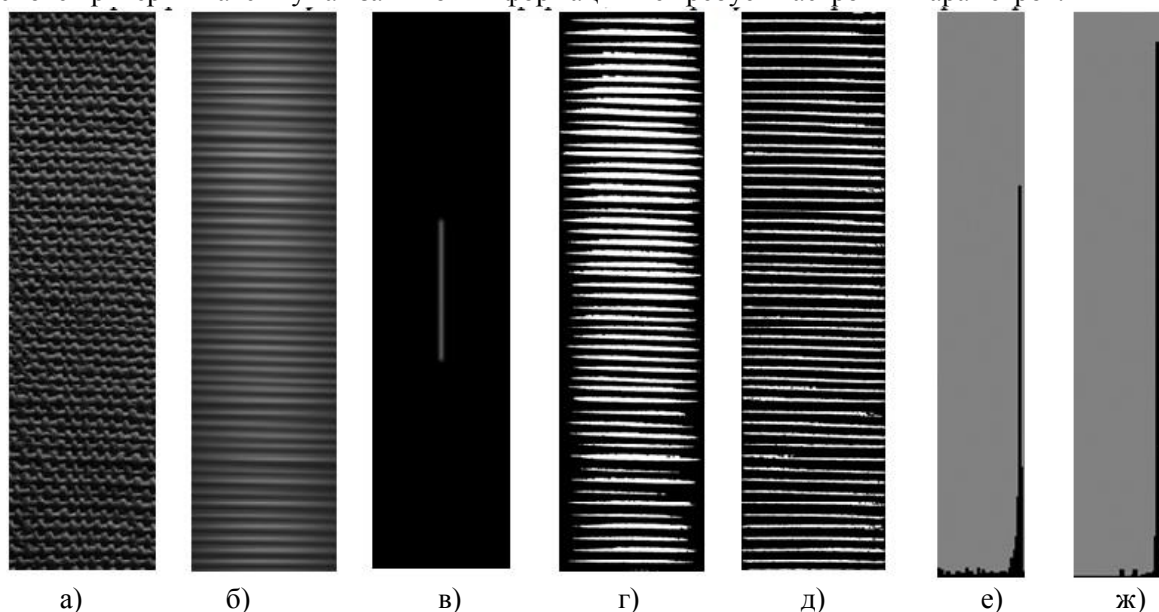


Рисунок 1. Иллюстрация работы модификаций алгоритма [8] на основе частотной фильтрации: (а) полутоновое изображение образца холста; (б) результат частотной фильтрации изображения образца; (в) маска фильтра; (г) результат применения метода Отсу и операции эрозии к отфильтрованному изображению; (д) результат применения метода Ниблэка и операции эрозии к отфильтрованному изображению; (е) и (ж) - гистограммы подсчитанных бинарных объектов на изображениях (г) и (д), соответственно.

После операции бинаризации для удаления мелких артефактов выполняются операции дилатации с квадратным структурирующим элементом размером 3×3 пикселя, эрозии с квадратным структурирующим элементом размером 5×5 и заполнения «дыр» (FillHole) [13]. Выбранные размеры структурирующих элементов морфологических операций до и после бинаризации эффективны для всех исследовавшихся изображений.

Результаты этапов обработки изображений холста показаны на рисунке 2. На рисунках 2 (а-г) показаны входное изображение, результаты операций фильтрации и компенсации неравномерной освещенности, гистограмма яркости полученного изображения. Гистограмма имеет одну моду. На рисунке 2(д) показано изображение, бинаризованное по критерию максимума взаимной информации. Далее, также как и в алгоритмах, представленных выше, производится подсчет бинарных объектов.

3.3. Подсчет бинарных объектов

На следующем этапе необходимо подсчитать количество объектов, соответствующих нитям, на сегментированных изображениях. В работе [8] подсчет количества нитей выполняется вдоль заданной базовой линии. В представляемой работе предлагается выполнять подсчет нитей по

всем столбцам матрицы изображения и строить гистограмму. Число нитей будет определяться по максимуму полученной гистограммы. Каждый объект характеризуется наличием перепадов яркости 0-255 и 255-0 (за исключением объектов, включающих пиксели в первой и последней строке матрицы изображения). Если при сканировании столбца матрицы встречается указанная комбинация перепадов яркости, то число объектов в столбце увеличивается на единицу. После окончания подсчета объектов в столбце частота появления полученного значения в гистограмме увеличивается на единицу. На рисунке 1 (е, ж) показаны гистограммы результатов подсчета количества нитей в образце по сегментированным методами Отсу и Ниблэка изображениям, представленным на рисунке 1 (г, д), соответственно.

На рисунке 2(е) показана гистограмма количества подсчитанных бинарных объектов, полученных при сегментации изображения, показанного на рисунке 2(д), методом максимизации взаимной информации.

4. Эксперимент

Для подтверждения эффективности алгоритмов, описанных выше, проведен вычислительный эксперимент. Анализировались фрагменты изображений, полученных фотосъемкой пяти картин при освещении направленным источником, расположенным под или над картиной. Изображения фиксировались при нескольких значениях углов падения света в пределах 15-30 градусов относительно плоскости холста. На каждом из изображений выделялись три образца. Исследовалось 30 образцов, взятых с десяти изображений холстов. Образцы содержат от 50 до 110 нитей. Ширина образцов холста составила от 0.7 до 1.7 см, а высота – от 4.8 до 8.7 см. На каждом образце тремя алгоритмами выполнялся подсчет горизонтальных нитей. Полученные значения сравнивались с результатами подсчета, выполненными экспертами.

Гистограммы ошибок, построенные для трех алгоритмов показаны на рисунке 3, где δ обозначает величину относительной ошибки подсчета количества нитей рассмотренными выше алгоритмами:

$$\delta = \frac{N_a - N_e}{N_e},$$

где N_a - количество нитей в образце, найденных алгоритмом, N_e - количество нитей, подсчитанных экспертом.

Алгоритм на основе локального метода бинаризации Ниблэка показал точный результат в 30% случаев. Ошибка определения количества нитей в образцах в пределах 5% получена в 83% случаев для алгоритма на базе метода Ниблэка и в 67% случаев для алгоритма на базе метода Отсу. Алгоритм на основе критерия максимума взаимной информации в 100% случаев показал точность в пределах 3.8%. На практике плотность холста измеряется экспертами в количестве нитей, приходящихся на единицу длины в определенном направлении и обычно выражается целыми числами [14], или диапазоном целых чисел. Алгоритм на базе метода Отсу в 70 % случаев показывает ошибку определения плотности в пределах 1 нити на сантиметр, на базе метода Ниблэка – в 83%, а алгоритм на основе критерия максимума взаимной информации – в 100% случаев.

5. Заключение

Решалась задача подсчета количества нитей на изображениях холстов картин, необходимая для определения плотности холста и ряда других параметров, используемых искусствоведами для датировки произведений живописи. Исходная задача сформулирована как задача анализа параметров текстуры изображений. Особенностью исследования является использование изображений, полученных при направленном под острым углом по отношению к холсту освещении, а также применение гистограмм измерений количества нитей, выполняемых по каждому строке/столбцу матрицы обработанного изображения. Для анализа изображений образцов использовались предложенные модификации известного подхода, основанного на фильтрации в Фурье-области и пороговой бинаризации. Применялись методы Отсу и Ниблэка, а также новый метод на основе максимизации взаимной информации между входным и

бинаризованным изображениями. Проведен вычислительный эксперимент по исследованию холстов пяти портретов работы русских художников XVIII века. Вычислительный эксперимент показал, что предложенные алгоритмы обеспечивают измерение плотности холста с точностью в пределах одной нити на сантиметр на 70-100 процентах изображений образцов. Алгоритм измерения на основе максимизации взаимной информации показал наилучший результат по точности измерения. Результаты вычислительного эксперимента соответствуют результатам известных алгоритмов измерения плотности холста по рентгеновским изображениям картин или изображениям, получаемым при контроле качества в текстильном производстве.

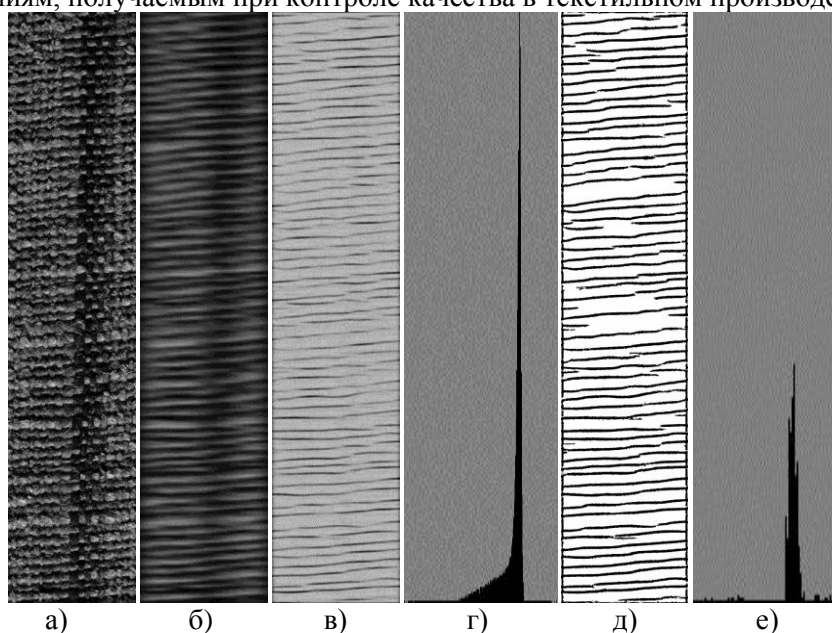


Рисунок 2. Иллюстрация работы метода подсчета нитей на основе максимизации взаимной информации: (а) изображение образца; (б) результат фильтрации; (в) результат устранения неравномерной освещенности; (г) гистограмма яркости изображения на рисунке (в); (д) полученное бинарное изображение; (е) гистограмма подсчитанных бинарных объектов в столбцах изображения (д).

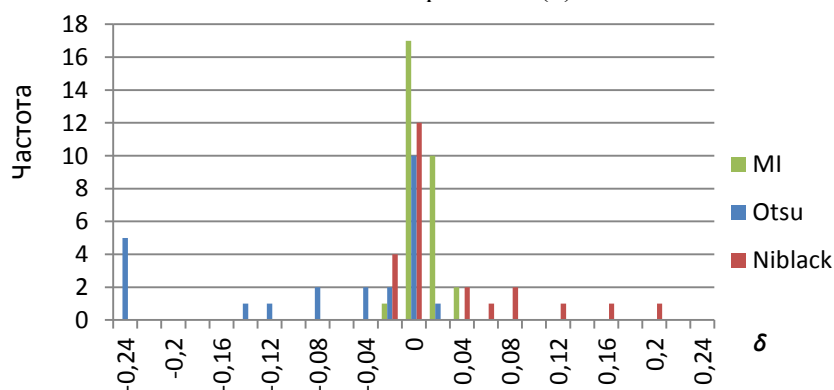


Рисунок 3. Гистограмма частоты ошибок определения количества нитей на изображениях образцов холстов для трех алгоритмов: на базе метода Отсу, метода Ниблэка и метода на основе максимизации взаимной информации (МИ); δ - величина относительной ошибки, определяемой выражением (7).

6. Литература

- [1] Cornelis, B. Digital painting analysis, at the cross section of engineering, mathematics and culture / B. Cornelis, A. Dooms, J. Cornelis, F. Leen, P. Schelkens // 19th European Signal Processing Conference. – 2011. – P. 1254-1258.

- [2] Johnson, D.H. Weave analysis of paintings on canvas from radiographs / D.H. Johnson, C.R. Johnson Jr, R.G. Erdmann // *Signal Processing*. – 2013. – Vol. 93(3). – P. 527-540.
- [3] van der Maaten, L. Automatic thread-level canvas analysis: A machine-learning approach to analyzing the canvas of paintings / L. van der Maaten, R.G. Erdmann // *IEEE Signal Processing Magazine*. – 2015. – Vol. 32(4). – P. 38-45.
- [4] Косолапов, А.И. Естественные научные методы в экспертизе произведений искусства / А.И. Косолапов. – С.-Пб.: Изд-во Гос. Эрмитажа, 2010.
- [5] Klein, A. Algorithms for old master painting canvas thread counting from x-rays / A. Klein, D. Johnson, W.A. Sethares, H. Lee, C.R. Johnson, E. Hendriks // *42nd Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*. – 2008. – P. 1229-1233.
- [6] Johnson, D.H. A thread counting algorithm for art forensics / D.H. Johnson, C. Johnson, A.G. Klein, W.A. Sethares, H. Lee, E. Hendriks // *IEEE 13th Digital Signal Processing Workshop and 5th IEEE Signal Processing Education Workshop*. – 2009. – P. 679-684.
- [7] Johnson, Jr.C.R. Advances in computer-assisted canvas examination: Thread counting algorithms / Jr.C.R. Johnson, E. Hendriks, P. Noble, M. Franken // *37th Annual Meeting of American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*. – Los Angeles, CA, 2009.
- [8] Pan, R. Measuring thread densities of woven fabric using the fourier transform / R. Pan, W. Gao, Z. Li, J. Gou, J. Zhang, D. Zhu // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. – 2015. – Vol. 23(1). – P. 35-40.
- [9] Niblack, W. An introduction to digital image processing / W. Niblack. – Prentice Hall. – 1986. – Vol. 34. – P. 215.
- [10] Aldemir, E. An improved gray line profile method to inspect the warp–weft density of fabrics / E. Aldemir, H. Özdemir, Z. Sari // *The Journal of The Textile Institute*. – 2018. – P. 1-12.
- [11] Yang, H. Quantitative canvas weave analysis using 2-d synchrosqueezed transforms: Application of time-frequency analysis to art investigation / H. Yang, J. Lu, W.P. Brown, I. Daubechies, L. Ying // *Signal Processing Magazine, IEEE*, 2015. – P. 55-63.
- [12] Мурашов, Д.М. Определение количества нитей холстов картин по изображениям, полученным при направленном освещении / Д.М. Мурашов, А.В. Березин, Е.Ю. Иванова // *Машинное обучение и анализ данных*. – 2018. – Т. 4(2). – С. 122-135. DOI: 10.21469/22233792.4.2.05.
- [13] Soille, P. Morphological image analysis: principles and applications / P. Soille. – Springer Science & Business Media, 2013. – 392 P.
- [14] Мазина, А.Я. Исследование холстов русских художников XIX-XX веков // XII Научная конференция «Экспертиза и атрибуция произведений изобразительного и декоративно-прикладного искусства». – М.: Магнум Артс, 2009. – С. 131-135.
- [15] Otsu, N. A threshold selection method from gray-level histograms / N. Otsu // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. – 1979. – Vol. 9(1). – P. 62-66.
- [16] Sezgin, M. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation / M. Sezgin, B. Sankur // *Journal of Electronic Imaging*. – 2004. – Vol. 13(1). – P. 146-166.
- [17] Shady, E. Image processing based method evaluating fabric structure characteristics / E. Shady, K. Qashqary, M. Hassan, J. Militky // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. – 2012. – Т. 6А, № 95. – P. 86-90.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проекты № 18-07-01385 и № 18-07-01231. Авторы благодарны М.М. Ланге за обсуждение результатов, представленных в этой работе.

Measuring parameters of texture from images obtained in raking light

D.M. Murashov¹, A.V. Berezin², E.Yu. Ivanova³

¹FRC CSC RAS, Vavilov street 42, Moscow, Russia, 119333

²State Historical Museum, Red Square 1, Moscow, Russia, 109012

³Glazunov Academy, Myasnitskaya 21, Moscow, Russia, 101000

Abstract. This paper deals with the problem of painting thread counting from images. It is necessary to determine the characteristics used by art historians for dating works of art. The initial problem is considered as a problem of measuring parameters of image texture. For the analysis of canvas sample images we propose modifications of known algorithm based on a filtering in the Fourier domain and thresholding. In this work, we propose to use raking light for emphasizing texture in a specified direction; thresholding technique based on mutual information maximization, and to use histograms for counting texture elements associated with canvas threads. Computing experiment on the study of canvases of portraits by Russian artists of the 18th century was carried out. The experiment showed that the proposed algorithms measured canvas density with precision within one thread per centimeter for 70-100 percents of sample images. The results of the computing experiment correspond to the results of known algorithms for measuring canvas density from x-ray images of paintings.