

УДК 75.051:004.932

Классификация Компьютерных методов анализа холста в онтологии по атрибуции и реставрации живописи¹

Мурашов Д.М.,

кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник, Федеральный
исследовательский центр «Информатика
и управление» Российской академии наук,
Москва, Россия,
d_murashov@mail.ru

Белоозеров В.Н.,

кандидат филологических наук, доцент, ве-
дущий научный сотрудник, Всероссийский
институт научной и технической инфор-
мации Российской академии наук, Москва,
Россия,
systemling@yandex.ru

Аннотация. В рамках онтологии для пред-
метной области атрибуции и реставрации жи-
вописи построены классификации методов
анализа характеристик живописного холста
и тканей в текстильной промышленности. От-
мечается ограниченность практически приме-
няемых методов в живописи рентгеноскопиче-
ским анализом и перспективность метода ана-
лиза фактуры холста в отражённых лучах при
направленном освещении.

Ключевые слова: атрибуция картин, компью-
терные методы, основа картины, холст, анализ
изображений, онтология.

Classification of Computer- Assisted Canvas Analysis Methods in the Ontology on Attribution and Restoration of Paintings

Murashov D.M.,

candidate of technical sciences, associate
professor, senior researcher, Federal Research
Center "Computer Science and Control"
of Russian Academy of Sciences, Moscow,
Russia,
d_murashov@mail.ru

Beloozerov V.N.,

candidate of philological sciences, associate
professor, leading researcher, All-Russia
Institute of Scientific and Technological
Information of the Russian Academy of
Sciences, Moscow, Russia,
systemling@yandex.ru

Abstract. Classifications of methods for analyzing
the structure of painting canvas, and fabrics in
the textile industry are constructed within the
framework of the ontology for the subject area
of attribution and restoration of paintings. The
limited variety of practically applied methods in
painting by x-ray analysis, and the perspective of
the method of analyzing the texture of the canvas
in reflected rays under directed lighting are noted.

Keywords: attribution of paintings, computer
methods, painting support, canvas, image analysis,
ontology.

DOI: 10.31432/1994-2443-2020-15-3-50-56

Цитирование публикации: Мурашов Д. М., Белоозеров В. Н. Классификация компьютерных ме-
тодов анализа холста в онтологии по атрибуции и реставрации живописи¹ // Информация и инно-
вации. 2020, Т.15, № 3. с. 50–56. DOI: 10.31432/1994-2443-2020-15-3-50-56

Citation: Murashov D. M., Beloozerov V. N. Classification of computer-assisted canvas analysis methods in
the ontology on attribution and restoration of paintings // Information and Innovations 2020, T.15, № 3.
p. 50–56. DOI: 10.31432/1994-2443-2020-15-3-50-56

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-07-01385

Введение

Современные технико-технологические исследования дают достаточную для атрибуции картин старых мастеров информацию о пигментах красочного слоя и грунта [1] и фактуре живописи, но область изучения тканевых основ остается менее изученной, а исследование основ с помощью компьютерных программных систем не стало рутинной музейной практикой. Задачей нашей работы была систематизация знаний в предметной области, связанной с применением компьютерных методов для извлечения количественных характеристик тканевых основ живописи путём создания раздела онтологии по реставрации и атрибуции картин, разрабатываемой авторским коллективом в течение ряда лет.

Для того чтобы опираться на тканевые основы в атрибуции, необходимо установить технологическую специфику ткани, выбираемой художником для будущих картин. Особенности тканей зависели от развития техники изготовления, менявшейся от ручного станка к машинам, как и вид нитей ткани и система их плетения [2]. Диагностическими показателями тканевой основы картины являются: природа нитей, толщина, особенности выделки нитей, тип переплетения нитей основы и утка, ширина ткани, плотность ткани, цвет нитей, наличие дополнительных цветных вплетений [3]. Анализ данных каждой отдельной картины позволяет основывать свое суждение о времени создания исследуемого произведения и принадлежности определенному автору или мастерской, если известна точная технологическая специфика, свойственная их произведениям, которая и является предметом нашего исследования.

Определение параметров холста картины вручную связано с кропотливыми подсчётами нитей под микроскопом характеризуется большой трудоёмкостью и неточностью [4]. Поэтому в последние годы возник интерес к разработке автоматизированных алгоритмов вычисления характеристик холстов по изображениям картин.

Онтология методов исследования тканой основы картин

Одним из важных этапов разработки компьютерных систем атрибуционного исследования живописи и, в частности, исследований основы

живописи, является построение онтологического представления знаний, связанных с реставрацией и атрибуцией картин. Авторами доклада разрабатывается онтология, в которую включены понятия, связанные с реставрацией и атрибуцией, а также специальный раздел применения компьютерных методов для анализа цифровых изображений, используемых при исследовании произведений живописи.

Отразить всё многообразие связей позволяет техника формальных онтологий, которая теперь становится общепризнанным способом представления предметной области информационных систем. Согласно классическому определению Грубера — Студера *“a formal, explicit specification of a shared conceptualization”*¹ [5] онтологией является любое перечисление понятий, принятых в качестве модели некоторой области знания. В частности под это определение подходят тезаурусы, представляющие в информационных системах определённую предметную область, структура которых формализована спецификациями национальных [6] и международных [7] стандартов. Ограниченность структуры типичного тезауруса заключается в том, что она предполагает указание только тех связей между объектами предметной области, которые полезны для поиска информации по абстрактным тематическим запросам, без учёта вида релевантных связей объектов.

Структура полноформатной онтологии включает в себя тезаурус классов объектов предметной области, представленных строгим родовидовым деревом отношений. При этом другие онтологические и прагматические связи объектов задаются дополнительным открытым (в принципе) списком, между членами которого также могут быть введены родовидовые соотношения. Таким образом, онтология может быть представлена как совокупность двух тезаурусов — тезауруса объектов и тезауруса отношений, которые объединены «горизонтальными» связями, указывающими на свойства объектов входить в определённые отношения. Применительно к индивидуальным объектам свойства классов задают систему всегда справедливых утверждений (аксиом), выражающих объективные реалии предметной среды.

¹ «формальная эксплицитная спецификация согласованной концептуализации» (англ.)

Необходимость отражать разносторонние связи реалий масляной живописи для целей атрибуции и реставрации привела к разработке специализированной онтологии. С точки зрения тематики из известных онтологий для нашей задачи наиболее близок проект CIDOC CRM [8], который получил статус международного стандарта ISO 21127:2014 [9]. В стандарте даны дефиниции и метки 90 классов абстрактных понятий, необходимых для описания предметов и процессов гуманитарной сферы, начиная от всеобъемлющего понятия «Нечто» и кончая отдельными видами объектов, процессов, лиц и характеристик, не спускаясь до уровня индивидуальных предметов. Классы образуют родовидовую иерархию и связаны системой 149 отношений, фиксирующих всегда справедливые утверждения о свойствах индивидуальных объектов. Разработанная первоначально для сферы музейной деятельности, онтология проявила способность охватывать значительно более широкую область жизни, и международный стандарт распространил её на сферу культурного наследия, включающую также деятельность библиотек и архивов. Сфера атрибуции и реставрации живописи смыкается с рутинной деятельностью музеев, что и обеспечило возможность включить дескрипторы ранее разработанного нами тезауруса TheArt [10] в иерархию классов онтологии CIDOC CRM. В соответствии с этим мы строим онтологию OntArt [11, 12] как их объединение, при котором дескрипторные статьи тезауруса оформляются как дефиниции онтологии CIDOC CRM, а классы онтологии, которые включают в себя понятия дескрипторов TheArt, записываются в файл тезауруса в качестве вышестоящих терминов, что и образует требуемую онтологию. При этом связи, определённые для классов CIDOC CRM по правилу наследования распространяются на соответствующие подчинённые классам дескрипторы TheArt.

Кроме связей, унаследованных по иерархии, дескрипторам должны быть приписаны специфические свойства, вытекающие из междескрипторных связей. Так например, для описания самой картины служит класс (дескриптор) “painting” онтологии OntArt, являющийся подклассом “E22 Man-Made Object”, который наделён свойствами “has layer (имеет слой)” со значениями в классе “painting layer (слой кар-

тины)”, “has genre (имеет жанр)” со значениями в классе “painting genre (жанр картины)” и др.

Таким образом, кроме дескрипторов и их специфических связей онтология OntArt должна включать:

- наивысший класс “E1 Entity (Нечто / Сущность)”;

- иерархию классов, подчинённых E1, которые описаны в официальной версии CIDOC CRM,

- дополнительные классы, предлагаемые как расширение CIDOC CRM, которые связывают существующие классы с типами дескрипторов сферы атрибуции и реставрации живописи.

Эта структура находится в процессе постепенного наполнения элементами, отражающими актуальные стороны текущих исследований. В частности, исследования основы картин потребовали пополнения онтологии методами определения характеристик тканей

Обычно для определения параметров холста эксперты вручную выполняют подсчет количества нитей по направлениям основы и утка. В текстильной промышленности разработаны многочисленные методы автоматизации этой процедуры, которые можно представить следующей иерархической схемой, вошедшей в онтологию OntArt:

Общие методы компьютерного анализа ткани

- анализ ткани по Л. Лицын и др.
- анализ ткани по Р. Пан и др. (2015)
- анализ ткани по Э. Алдемир и др.
- анализ ткани по Э. Шейди и др.
- выявление структурной единицы переплетения
 - о анализ ткани по Ф. Аджаллуян и др.
- измерение плотности нитей
 - о ряд методов измерения плотности нитей
 - о измерение плотности нитей в направленном свете
- методы измерения шероховатости ткани
- оценка площади поперечного сечения нитей
 - о анализ ткани по Э. Похле
- определение вида переплетения
 - о определение вида переплетения на основе распознавания образов
 - определение вида переплетения в частотной области

- определение вида переплетения на основе преобразования Фурье
 - *ряд методов на основе преобразования Фурье*
 - определение вида переплетения на основе вейвлет-преобразования
 - *ряд методов на основе вейвлет-преобразования*
 - определение вида переплетения в пространственной области
 - автокорреляционное определение вида переплетения
 - анализ ткани по В. Гао и др.
 - автокорреляционный анализ ткани по Р. Пан
 - определение вида переплетения на основе математической морфологии
 - *ряд методов на основе математической морфологии*
 - определение вида переплетения на основе проекции серого
 - *ряд методов на основе проекции серого*
 - определение вида переплетения на основе матрицы совстречаемости
 - *ряд методов на основе матрицы совстречаемости*
 - определение вида переплетения на основе кластерного анализа
 - *ряд методов на основе кластерного анализа*
 - определение вида переплетения на основе нейронных сетей
 - *ряд методов на основе нейронных сетей*
 - о оптические методы определения вида переплетения
 - дифракционные методы определения вида переплетения
 - анализ ткани по Рюити
 - фотоэлектрические методы определения вида переплетения
 - анализ ткани по Ц. Чжон и др.
 - частотные методы анализа ткани
 - о определение вида переплетения в частотной области.
- Для применения этих методов в атрибуции произведений живописи требуется существенная доработка, поскольку холст картины связан с его проклейкой, нанесением грунта

и красочного слоя, что значительно затрудняет определение свойств использованной ткани.

Работы, посвященные компьютерному исследованию живописных холстов, менее многочисленны, но в последние десятилетия были разработаны автоматизированные алгоритмы вычисления характеристик холстов по изображениям, полученным в проходящих лучах, главным образом рентгеновского диапазона [13, 14, 15, 16, 17]. Однако, алгоритмы компьютерной обработки с равным успехом могут быть созданы и применены для изображений картин, полученных другими методами в других диапазонах излучения. Обращаем внимание, что метод исследования обратной стороны картин в рассеянном свете при направленном освещении использовался только в работах нашего коллектива [18, 19]. Он имеет преимущество перед рентгенографическими методами в простоте оборудования, а точность его результатов находится на том же уровне.

Специализированные методы анализа холстов живописных произведений могут быть объединены в виде иерархической схемы, показанной ниже. Эти методы исследования ткани и холста включены в состав онтологии по атрибуции и реставрации живописи OntArt, где для наименований методов даны их описания и показаны смысловые связи.

Методы компьютерного анализа основы картин

- методы анализа тканевых основ холста
 - компьютерные методы сравнения холстов
 - о интерпретация совпадений структуры холстов по Э. Хендрикс и др.
 - о сравнение холстов по Д. Джонсон и др.
 - о сравнение холстов по Лидтке
 - о сравнение холстов по Маатен — Эрдманн
 - характеризация холста по Б. Корнелис и др.
 - *Классы методов по способу физического воздействия*
 - анализ холста в отражённых лучах при рассеянном освещении
 - анализ холста в отражённых лучах при направленном освещении
 - о анализ холста по Д. Мурашову и др. (2019)
 - анализ холста в проходящих лучах
 - о алгоритм подсчёта нитей по А. Клейну и др.

о анализ холста на уровне отдельных нитей

- анализ холста по Б. Тобин
- анализ холста по Маатен — Эрдманн
- полуавтоматическая разметка нитей пр Сетаресу

о анализ холста по Ч. Джонсону и др. (2008)

о анализ холста по Д. Джонсону и др. (2013)

- автоматическое построение карт переплетения
- выявление змеистости утка
- о анализ холста по Х. Ян и др.
- о подсчёт нитей по Мурильо-Фуэнтес и Альба

- *Классы методов по спектральному диапазону*

- анализ холста в инфракрасных лучах
- анализ холста в видимом свете
- о анализ холста по Д. Мурашову и др. (2019)
- анализ холста в ультрафиолетовых лучах
- анализ холста в рентгеновских лучах
- о анализ холста по А. Вандивере и др. (2019)

о анализ холста по Ч. Джонсону и др. (2008)

о анализ холста по Д. Джонсону и др. (2013)

о алгоритм подсчёта нитей по А. Клейну и др.

о анализ холста по Х. Ян и др.

- *Классы методов по алгоритмам анализа*
- анализ холста на основе преобразования Радона
- о алгоритм счёта нитей по А. Клейну и др.
- анализ холста на основе преобразований Фурье
- о анализ холста по Х. Ян и др.

подсчёт нитей по Мурильо-Фуэнтес и Альба

- анализ холста на основе спектральной плотности

о анализ холста по Симоис и Мурильо-Фуэнтес

- анализ холста на основе частотной фильтрации

о анализ холста по Д. Мурашову и др. (2019)

- полуавтоматический анализ холста
- о полуавтоматическая разметка нитей по Сетаресу

Заключение

Построение классификации методов анализа ткани в рамках онтологии предметной сферы

атрибуции и реставрации живописи позволяет связать задачи выявления особенностей произведений станковой масляной живописи с методами анализа тканевой основы картин для подбора оптимального выбора методов атрибуции. В классификации занял своё надлежащее место и новый метод анализа холста в отражённом свете. Сопоставление задач художественного анализа картин с методами анализа ткани в промышленности открывает перспективу адаптации и применения промышленных методов к анализу художественного творчества на основе изучения особенностей материала используемого для живописи холста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косолапов А. И. Естественные научные методы в экспертизе произведений искусства / Государственный Эрмитаж. — Санкт-Петербург, 2015. — 222 с.

2. Демкин А. В. Полотняное производство в России на рубеже XVIII — XIX вв. — Москва, 2004. — 260 с.

3. Грановский Т. С., Мшвениерадзе А. П. Строение и анализ тканей : учебник. — Москва, 1988. — 95 с.

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

5. Studer R. Knowledge engineering: principles and methods / R. Studer, V.R. Benjamins, and D. Fensel, *Data & knowledge engineering*. 1998, vol. 25, no. 1-2, pp. 161-197.

6. ГОСТ Р 7.0.91–2015. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Тезаурус для информационного поиска. — Москва: Стандартинформ, 2015.

7. ISO 25964-1:2011. Information and documentation — Thesauri and interoperability with other vocabularies — Part 1: Thesauri for information retrieval. — Geneva: ISO, 2011.

8. CIDOC CRM. Definition of CIDOC Conceptual Reference Model: Version 5.0.4 / Editors: Nick Crofts et al. — 2011. — 173 p. — URL: <http://www.cidoc-crm.org/>. — Access date 2020-07-15.

9. ISO 21127:2014. Information and documentation — A reference ontology for the interchange of cultural heritage information:

International Standard / International Organization for Standardization (ISO). — Ed. 2. — Geneva, 2014. — 104 p.

10. Мурашов Д. М. Тезаурус по реставрации и атрибуции произведений станковой масляной живописи «TheArt» / Д. М. Мурашов, Ю. О. Трусова, В. Н. Белоозеров, А. В. Березин, Е. Ю. Иванова // *Научно-техническая информация. Серия 1. Организация и методика информационной работы*. — 2018, № 2. — С. 30–35.

11. Beloozerov V., Murashov D., Trusova Y., Berezin A., Ivanova E. Conception of Ontology for Computer Methods of Paintings Analysis // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). — IEEE, 2019. — С. 0903-0908.

12. Белоозеров В.Н., Мурашов Д.М., Трусова Ю.О., Березин А.В., Иванова Е. Ю. Концепция онтологии компьютерных методов анализа живописных произведений // *Знания-Онтологии-Теории (ЗОНТ-2019)*. — 2019. — С. 33-41.

13. Vandivere A., van Loon A., Dooley K., Haswell R., Erdmann R., Leonhardt E., Delaney J., Revealing the painterly technique beneath the surface of Vermeer's Girl with a Pearl Earring using macro- and microscale imaging // *Heritage Science*. V. 7. Article No. 64. — 2019 — P. 1-16.

14. van der Maaten L., Erdmann R. G. Automatic thread-level canvas analysis: A machine-learning approach to analyzing the canvas of paintings // *IEEE Signal Processing Magazine*. — 2015. — Vol. 32(4). — P. 38–45.

15. Johnson D. H., Johnson C. R., Erdmann R. G. Weave analysis of paintings on canvas from radiographs // *Signal Processing* — 2013. — Vol. 93(3). — P. 527–540.

16. Johnson Jr. C. R., Hendriks E., Noble P., Franken M. Advances in computer-assisted canvas examination: Thread counting algorithms // 37th Annual Meeting of American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Los Angeles, CA. — 2009.

17. Klein A., Johnson D., Sethares W. A., Lee H., Johnson C. R., Hendriks E. Algorithms for old master painting canvas thread counting from x-rays // 42nd ASILOMAR Conference on Signals, Systems and Computers. — 2008. — P. 1229–1233.

18. Murashov D. M., Berezin A. V., Ivanova E. Yu. Measuring parameters of canvas texture from images of paintings obtained in raking light // *Journal of Physics: Conference Series by IOP*

Publishing, Vol. 1368 032024. — 2019. — P. 1– 11. doi:10.1088/1742-6596/1368/3/032024.

19. Мурашов Д. М., Березин А. В., Иванова Е. Ю. Измерение параметров текстуры изображений, полученных при направленном освещении // Сборник трудов ИТНТ-2019: V междунар. конф. «Информ. технологии и нанотехнологии»: 21-24 мая : в 4 т. / Самарский нац.-исслед. ун-т им. С. П. Королева, Ин-т систем обработки изображений РАН. — Самара: Новая техника, 2019. — Т. 2: Обработка изображений и дистанционное зондирование Земли. — 2019. — С. 522-530.

REFERENCES

1. Kosolapov A. I. Estestvennonauchnye metody v ekspertize proizvedenij iskusstva / Gosudarstvennyj Ermitazh. — Sankt-Peterburg, 2015. — 222 s.

2. Demkin A. V. Polotnyanoe proizvodstvo v Rossii na rubezhe XVIII — XIX vv. — Moskva, 2004. — 260 s.

3. . Granovskij T. S., Mshvenieradze A. P. Stroenie i analiz tkanej : uchebnik. — Moskva, 1988. — 95 s.

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

5. Studer R. Knowledge engineering: principles and methods / R. Studer, V.R. Benjamins, and D. Fensel, Data & knowledge engineering. 1998, vol. 25, no. 1-2, pp. 161-197.

6. GOST R 7.0.91–2015. Sistema standartov po informacii, biblioteknomu i izdatel'skomu delu. Tezaurus dlya informacionnogo poiska. — Moskva: Standartinform, 2015.

7. ISO 25964-1:2011. Information and documentation — Thesauri and interoperability with other vocabularies — Part 1: Thesauri for information retrieval. — Geneva: ISO, 2011.

8. CIDOC CRM. Definition of CIDOC Conceptual Reference Model: Version 5.0.4 / Editors: Nick Crofts et al. — 2011. — 173 p. — URL: <http://www.cidoc-crm.org/>. — Access date 2020-07-15.

9. ISO 21127:2014. Information and documentation — A reference ontology for the interchange of cultural heritage information: International Standard / International Organization

for Standardization (ISO). — Ed. 2. — Geneva, 2014. — 104 p.

10. Murashov D. M. Tezaurus po restavracii i atribucii proizvedenij stankovoj maslyanoj zhivopisi «TheArt» / D. M. Murashov, YU. O. Trusova, V. N. Beloozerov, A. V. Berezin, E. YU. Ivanova // Nauchno-tehnicheskaya informaciya. Seriya 1. Organizaciya i metodika informacionnoj raboty. — 2018, № 2. — S. 30–35.

11. Beloozerov V., Murashov D., Trusova Y., Berezin A., Ivanova E. Conception of Ontology for Computer Methods of Paintings Analysis // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). — IEEE, 2019. — S. 0903-0908.

12. Beloozerov V.N., Murashov D.M., Trusova YU.O., Berezin A.V., Ivanova E. YU. Koncepciya ontologii komp'yuternyh metodov analiza zhivopisnyh proizvedenij // Znaniya-Ontologii-Teorii (ZONT-2019). — 2019. — S. 33-41.

13. Vandivere A., van Loon A., Dooley K., Haswell R., Erdmann R., Leonhardt E., Delaney J., Revealing the painterly technique beneath the surface of Vermeer's Girl with a Pearl Earring using macro- and microscale imaging // Heritage Science. V. 7. Article No. 64. — 2019 — P. 1-16.

14. vander Maaten L., Erdmann R. G. Automatic thread-level canvas analysis: A machine-learning approach to analyzing the canvas of paintings // IEEE Signal Processing Magazine. — 2015. — Vol. 32(4). — P. 38–45.

15. Johnson D. H., Johnson C. R., Erdmann R. G. Weave analysis of paintings on canvas from radiographs // Signal Processing — 2013. — Vol. 93(3). — P. 527–540.

16. Johnson Jr. C. R., Hendriks E., Noble P., Franken M. Advances in computer-assisted canvas examination: Thread counting algorithms // 37th Annual Meeting of American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Los Angeles, CA. — 2009.

17. Klein A., Johnson D., Sethares W. A., Lee H., Johnson C. R., Hendriks E. Algorithms for old master painting canvas thread counting from x-rays // 42nd ASILOMAR Conference on Signals, Systems and Computers. — 2008. — P. 1229–1233.

18. Murashov D. M., Berezin A. V., Ivanova E. Yu. Measuring parameters of canvas texture from images of paintings obtained in raking light // Journal of Physics: Conference Series by IOP Publishing, Vol. 1368 032024. — 2019. — P. 1-11. doi:10.1088/1742-6596/1368/3/032024.

19. Murashov D. M., Berezin A. V., Ivanova E. YU. Izmerenie parametrov tekstury izobrazhenij, poluchennyh pri napravlennom osveshchenii // Sbornik trudov ITNT-2019: V mezhdunar. konf. "Inform. tekhnologii i nanotekhnologii" : 21-24 maya : v 4 t. / Samarskij nac.-issled. un-t im. S. P. Koroleva, In-t sistem obrabotki izobrazhenij RAN. — Samara: Novaya tekhnika, 2019. — T. 2: Obrabotka izobrazhenij i distancionnoe zondirovanie Zemli. — 2019. — S. 522-530.