

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.397.13:09

DOI: 10.34680/2076-8052.2024.1(135).43-56

ГРНТИ 47.51.39+19.51.45

Специальность ВАК 2.2.13; 1.3.4

Научная статья

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ БУМАЖНОЙ ОСНОВЫ ИСТОРИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Гареев В. М.¹, Гареев М. В.¹, Калитов М. А.², Корнышев Н. П.¹, Серебряков Д. А.¹

¹ Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия)

² АО «ЭЛСИ» (Великий Новгород, Россия)

Аннотация В статье обсуждаются вопросы телевизионной спектральной визуализации применительно к исследованиям бумажной основы исторических документов, в том числе рукописно-книжных памятников. Рассматриваются методы формирования и обработки спектральных изображений. Приводятся некоторые технические характеристики аппаратуры и методика экспериментальных исследований. Обсуждаются результаты экспериментов с использованием спектральных телевизионных систем и программ обработки изображений для определения различий в бумажной основе, использованной при написании текстов в рукописно-книжных памятниках. Приводятся сравнительные спектральные характеристики и гистограммы, полученные для исследованных образцов бумаги. Формулируются практические рекомендации по применению телевизионных спектральных систем в случае необходимости проведения экспресс-анализа больших массивов исторических документов, а также в случае необходимости углубленных исследований отдельных образцов документов, представляющих особый интерес.

Ключевые слова: телевизионные спектральные системы, обработка изображений, спектральная селекция

Для цитирования: Гареев В. М., Гареев М. В., Калитов М. А., Корнышев Н. П., Серебряков Д. А. Телевизионная спектральная визуализация и обработка изображений в исследованиях бумажной основы исторических документов // Вестник НовГУ. 2024. 1(135). 43-56. DOI: 10.34680/2076-8052.2024.1(135).43-56

Research Article

TELEVISION SPECTRAL VISUALIZATION AND IMAGE PROCESSING IN RESEARCH ON THE PAPER BASIS OF HISTORICAL DOCUMENTS

Gareev V. M.¹, Gareev M. V.¹, Kalitov M. A.², Kornyshev N. P.¹, Serebryakov D. A.¹

¹ Yaroslav-the-Wise Novgorod State University (Veliky Novgorod, Russia)

² JSC "ELSI" (Veliky Novgorod, Russia)

Abstract The article discusses the issues of television spectral visualization in relation to the research of the paper basis of historical documents, including handwritten book monuments. Methods of formation and processing of spectral images are considered. Some technical characteristics of the equipment and methods of experimental research are given. The results of experiments using spectral television systems and image processing programs to determine differences in the paper base used in writing texts in handwritten book monuments are discussed. Comparative spectral characteristics and histograms obtained for the studied paper samples are presented. Practical recommendations are formulated for the use of television spectral systems in case of need for rapid analysis of large arrays of historical documents, as well as in case of need for in-depth studies of individual samples of documents of special interest.

Keywords: *television spectral systems, image processing, spectral selection*

For citation: Gareev V. M., Gareev M. V., Kalitov M. A., Kornyshev N. P., Serebryakov D. A. Television spectral visualization and image processing in research on the paper basis of historical documents // Vestnik NovSU. 2024. 1(135). 43-56. DOI: 10.34680/2076-8052.2024.1(135).43-56

Введение

Исследование бумажной основы документов, в том числе, древних рукописей и книг позволяет в ряде случаев определить место их происхождения, уточнить датировку, бытование и другие факты, имеющие историческое значение [1-4]. Оптико-электронные методы, в том числе, телевизионная спектральная визуализация находят в настоящее время все большее применение таких исследованиях [5-10]. Условно методы телевизионной спектральной визуализации классифицируют по количеству спектральных каналов (зон регистрации лучистых потоков) [11-16] и разделяют на моно-, мульти- и гиперспектральные методы (таблица 1).

Таблица 1 Методы телевизионной спектральной визуализации и их условная классификация

Методы спектральной визуализации	Число спектральных каналов
Моноспектральные	1
Мультиспектральные	До нескольких десятков (обычно 3-50)
Гиперспектральные	До нескольких сотен (обычно 50-300)

Для практики исследований исторических документов наибольший интерес представляют мульти- и гиперспектральные методы. Наиболее простым (минимальным) вариантом телевизионной мультиспектральной системы для видимого диапазона спектра может являться цветная телевизионная камера, содержащая $k=3$ спектральных канала [13] (рисунок 1).

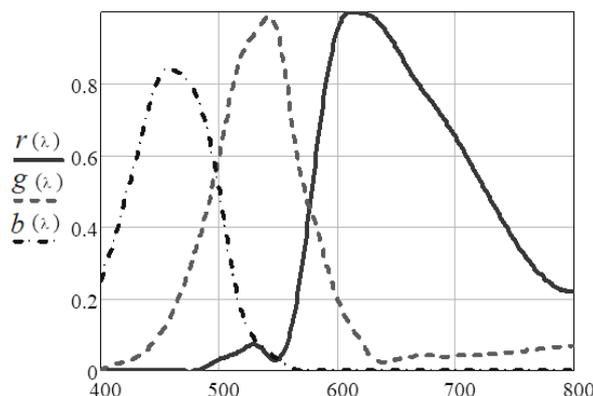


Рисунок 1. Спектральные характеристики rgb каналов цветной телекамеры

В мультиспектральных системах для видимого диапазона спектра и ближнего инфракрасного (до 1100 нм) диапазона спектра с числом спектральных каналов $k>3$ обычно используется черно-белая телевизионная камера с набором узкополосных

интерференционных светофильтров, имеющих полосу пропускания до 10 нм [17] или набором стандартных цветных стекол типа ЖС, ОС, КС, ИКС [18].

Другой вариант получения спектральных каналов предусматривает наличие защиты исследуемого документа от посторонних засветок и его подсветку спектральнональными источниками [19]. В настоящее время в качестве таких источников подсветки используются светодиоды [20], работающие в диапазоне от 365 до 1000 нм (рисунок 2).

Главная задача обработки получаемых спектральных изображений при исследовании бумажной основы документов заключается в построении спектральных характеристик (СХ) для заданных точек или фрагментов изображения, а также спектральных гистограмм (СГ), показывающих количество точек изображения, имеющих одинаковые СХ. Нормировка СГ по количеству элементов изображения даёт нормированную СГ, показывающую вероятность появления в изображении точки с данной СХ. Кроме этого, визуальный анализ документа в отдельных зонах регистрации лучистых потоков может быть дополнен режимом спектральной селекции, при котором на изображении выделяются фрагменты, точки которых имеют одинаковые СХ [20, 21]. Данный вид обработки является более общим случаем цветовой селекции [13], применяемой для *rgb* изображений.

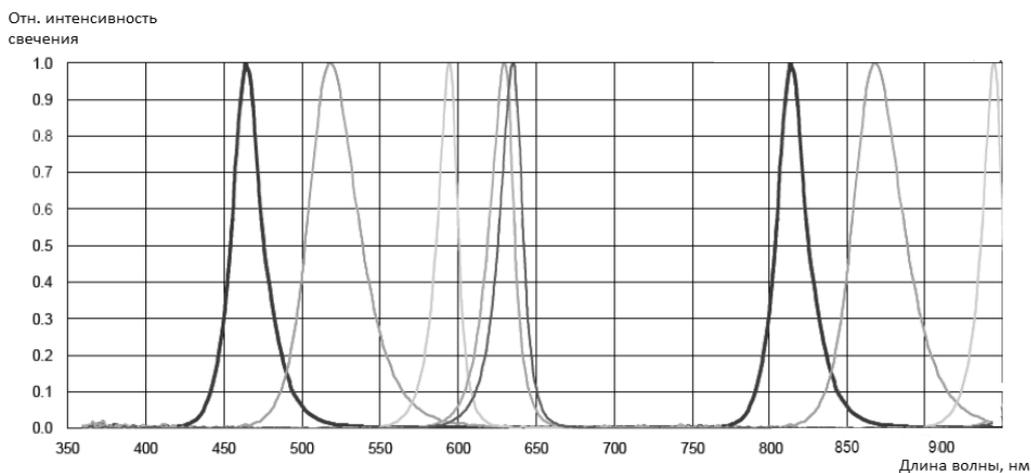


Рисунок 2. Пример спектральных характеристик некоторых светодиодов

В настоящей статье приводятся и анализируются результаты экспериментов по телевизионной спектральной визуализации и компьютерному моделированию методов обработки [22-25] спектральных изображений бумажной основы тестового образца, изготовленного по старинной технологии (ручной отлив), и обычной бумаги, визуально сходной с данным тестовым образцом. Целью экспериментов являлась оценка возможности применения рассмотренных выше методов для исследования бумажной основы документов с точки зрения их эффективности и сложности используемого оборудования, программного обеспечения и требуемых вычислительных ресурсов.

Методика экспериментов

Исследования проводились с использованием мультиспектральной телевизионной системы «Криминалист-2Ц» [26] производства НИИПТ «Растр», Великий Новгород (рисунок 3а), имеющей режим сканирования по 10 спектральным каналам в диапазоне от 375 до 910 нм, реализуемый путем программного управления спектральнозональными светодиодными источниками подсветки, а также имеющей режим визуализации *rgb*-изображения при подсветке белыми светодиодами. Кроме этого, для экспериментов была использована гиперспектральная система «FS-23» с прикладным программным обеспечением фирмы FIGSPEC (рисунок 3б) [27].

Компьютерное моделирование методов обработки мультиспектральных изображений осуществлялось в среде MATLAB [23]. При обработке цветного изображения, получаемого при помощи аппаратуры «Криминалист-2Ц» строились спектральные и псевдоспектральные [28] характеристики для $k=3$ спектральных каналов *r*, *g* и *b*. Спектральные характеристики определялись для заданного элемента изображения, а также для исследуемого фрагмента. При этом для исследуемого фрагмента изображения определялась средняя яркость его элементов.

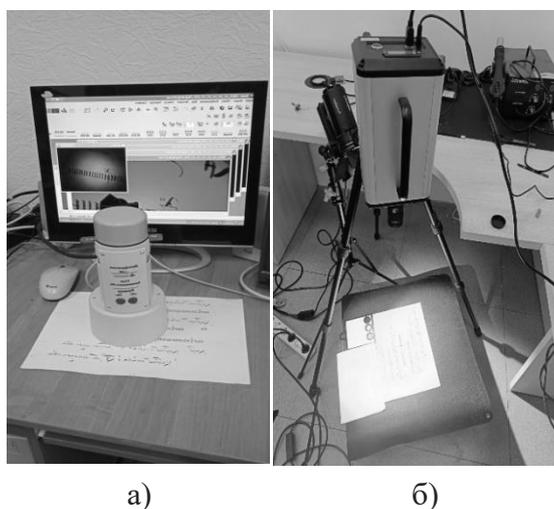


Рисунок 3. Внешний вид аппаратуры: а) «Криминалист 2Ц», б) «FS-23»

Псевдоспектральные характеристики (ПСХ) формировались путем перевода координат цветового пространства *rgb* в цветовое пространство *HSV* [23] с пересчетом параметра цветового тона *H* из диапазона $[0, 1]$ в диапазон $[380, 650]$ нм с шагом 10 нм. При этом производилась оценка среднего значения сигнала яркости $Y=0,3r+0,59g+0,11b$, а также оценка площади изображения, соответствующего каждой псевдоспектральной составляющей. ПСХ нормировались по отношению к соответствующим максимальным значениям оцениваемого

параметра. Тем самым для *rgb*-изображения формировалась истинные СХ $B=f(\lambda)$ и ПСХ типа $B=f(\lambda_n)$ и $S=f(\lambda_n)$, причем, $\lambda_n=f(H)$, где B – яркость изображения, S – площадь изображения, λ и λ_n – длина волны, H – «Hue» (параметр цветового тона).

Построение спектральной гистограммы (СГ) осуществлялось следующим образом. Матрицы спектральных изображений A_i размером $Num=v \times l$ элементов, где $i=1,2,\dots,k$, v – число строк, а l – число столбцов, собирались в стек C размером $v \times l \times k$ при помощи функции *MATLAB* $C=cat(k, A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_k)$, после чего определялись СХ для каждой точки изображения и запоминались в таблице T_1 размером $k \times Num$ элементов. При этом каждая матрица для удобства вычислений преобразовывалась в вектор-строку a_i размером $1 \times Num$. Далее таблица T_1 подвергалась сортировке при помощи функции *MATLAB* $T_2=unique(T_1, 'rows', 'stable')$ с целью исключения повторений СХ, что характерно для подавляющего большинства изображений. В результате сортировки формировалась новая таблица T_2 размером $k \times N$ элементов, где N – число неповторяющихся СХ для данного стека C , причем $N \ll Num$.

На основании данных таблиц T_1 и T_2 производилась разметка элементов изображения в соответствии с порядковым номером СХ $j=1,2,\dots,N$. Для этого осуществлялось сравнение всех столбцов t_{1i} таблицы T_1 с поочередно выбираемыми столбцами t_{2j} таблицы T_2 и проверялось выполнение неравенства $\max(|t_{1i}-t_{2j}|) \leq d$, где $d=0,1,2,\dots,m$ – задаваемое пороговое значение зоны допуска, причем, m – число возможных градаций яркости, равное 256 при 8-ми разрядном кодировании изображений. При выполнении данного неравенства элементы вектора-строки z последовательно заполнялись порядковыми номерами СХ $j=1,2,\dots,N_d$. В случае $d \geq 1$ число $N_d < N$, поскольку для элементов изображения, значения СХ которых не превышают установленное пороговое значение, новый порядковый номер j не присваивается.

Для формирования СГ $h_s=f(N_d)$ в векторе-строке производился подсчет количества элементов, имеющих одинаковые номера $j=1,2,\dots,N_d$. Нормировка СГ осуществлялась путем деления её значений на число элементов изображения Num . Таким образом, в отличие от традиционной гистограммы яркости СГ для разного набора спектральных изображений может отличаться, как своими значениями h_s , так и «длиной» N_d .

Режим спектральной селекции с окрашиванием элементов изображения, имеющих одинаковые СХ, моделировался путем преобразования вектора-строки z в соответствующую матрицу Z при помощи функции *MATLAB* $Z=reshape(z, [v, l])$. Полученная матрица Z индексировалась при помощи функции *MATLAB* $I=grayslice(Z, N_d)$ и цветовой карты $map=colormap(name(N_d))$, где $name$ – вид цветовой карты, и выводилась на экран для просмотра [23].

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментов представлены на соответствующих рисунках. Так, на рисунке 4 приведены истинные СХ, а на рисунке 5 показаны ПСХ, построенные для фрагментов изображений исследуемых образцов бумажной основы документа по *rgb* изображению.

Как видно из рисунков 4-6 соответствующие СХ и ПСХ, полученные для исследуемых образцов бумажной основы имеют достаточно существенные отличия. Из колориметрии известно, что каждой длине волны в видимом диапазоне спектра соответствует своё цветовое ощущение, а обратное утверждение о том, что каждому цвету соответствует своя длина волны излучения, строго говоря, неверно [13]. Несмотря на то, что ПСХ строятся на основе указанного выше не вполне корректного обратного утверждения, они, как видно из рисунка 5, могут быть использованы в качестве признаков, характеризующих бумажную основу документа. Сравнивая СХ на рисунке 4 и 6, нетрудно заметить, что увеличение числа спектральных каналов приводит к увеличению количества отличающихся друг от друга точек СХ.

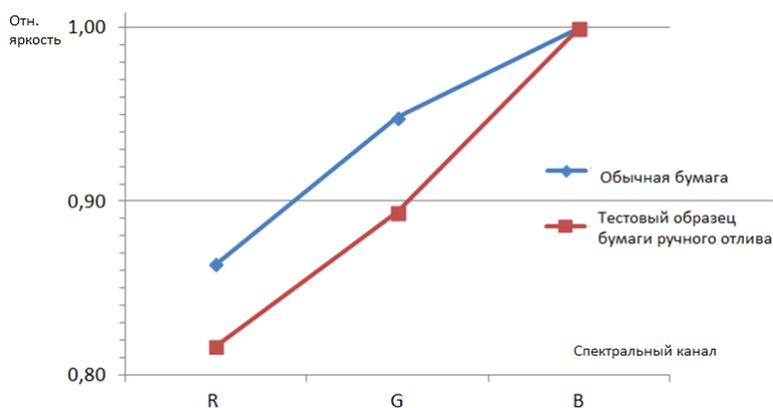


Рисунок 4. СХ для *rgb* фрагментов изображений образцов бумажной основы

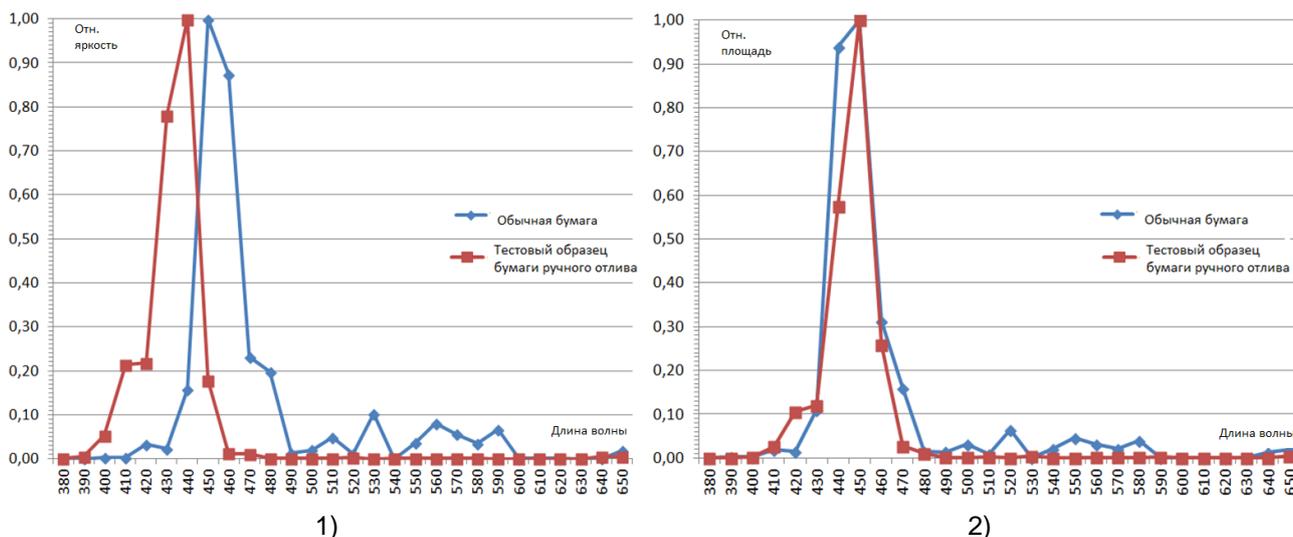


Рисунок 5. ПСХ вида $B=f(\lambda_n) - 1$) и $S=f(\lambda_n) - 2$)

На рисунке 6 приведены СХ для $k=10$ спектральнональных изображений образцов бумажной основы.

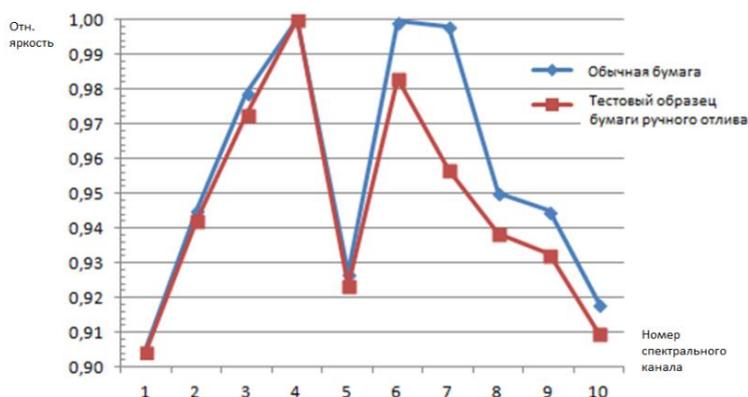


Рисунок 6. СХ для $k=10$ спектральных изображений исследуемых образцов

Теоретически при числе спектральных каналов k и числе градаций яркости m максимально возможное количество СХ равно числу размещений с повторениями $n_{maxmax}=m^k$ [20]. С учетом устанавливаемой зоны допуска $\pm d$ это число уменьшается до $n_{max}=(m/2d)^k$. При этом зону допуска целесообразно устанавливать с учетом априорно задаваемого отношения сигнал-шум $\psi=1,2\dots$ и величины среднеквадратического отклонения шума в градациях яркости σ , а именно: $d=\psi\sigma$.

В реальных спектральных изображениях из общего числа m градаций яркости обычно представлено их ограниченное количество $m_s < m$. Таким образом, максимально возможное количество СХ сокращается до $n_{s,max}=(m_s/2d)^k$. Однако, из множества максимально возможных СХ, потенциально доступное число СХ ограничивается размером анализируемого изображения $Num=v \times l$. В силу статистических свойств подавляющего большинства исследуемых изображений число СХ $N \ll Num$.

На рисунке 7 приведены СГ для $k=3$ спектральных каналов, построенные по rgb изображению тестового образца ручного отлива и образца обычной бумаги при значении зоны допуска $d=2$.



Рисунок 7. СГ для *rgb* изображений исследуемых образцов ($k=3$)

Как видно из рисунка 7 при $k=3$, число спектральных характеристик для данного стека спектральных изображений достигает значения $N=99$. При увеличении числа спектральных каналов вид СГ изменяется.

На рисунке 8 показаны СГ для $k=10$ спектральных каналов, построенные для данных образцов бумажной основы при значении зоны допуска $d=2$.

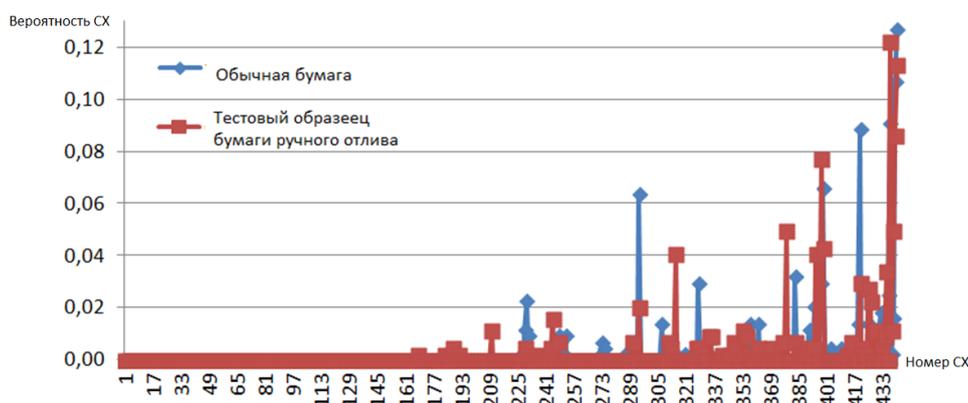


Рисунок 8. СГ для $k=10$ спектральных изображений исследуемых образцов

Как видно из рисунка 8, при $k=10$ число спектральных характеристик для данного стека спектральных изображений увеличивается и достигает значения $N=430$. Сравнение рисунков 7 и 8 показывает, что при увеличении спектральных каналов число отличающихся друг от друга точек в СГ для анализируемых образцов увеличивается. Однако необходимо отметить, что при увеличении числа k спектральных каналов резко увеличивается количество операций при обработке массивов данных, что приводит существенному возрастанию времени анализа. Аналогичный рост вычислительных затрат происходит и при увеличении числа уровней квантования (градаций яркости – m). Сокращение числа уровней квантования повышает быстродействие, однако, это приводит к ухудшению качества изображения и далеко не всегда применимо в данных исследованиях.

На рисунке 9 приведены спектральные характеристики, построенные для точки изображения исследуемых образцов бумаги, с использованием гиперспектрального метода визуализации при помощи аппаратуры «FS-23».

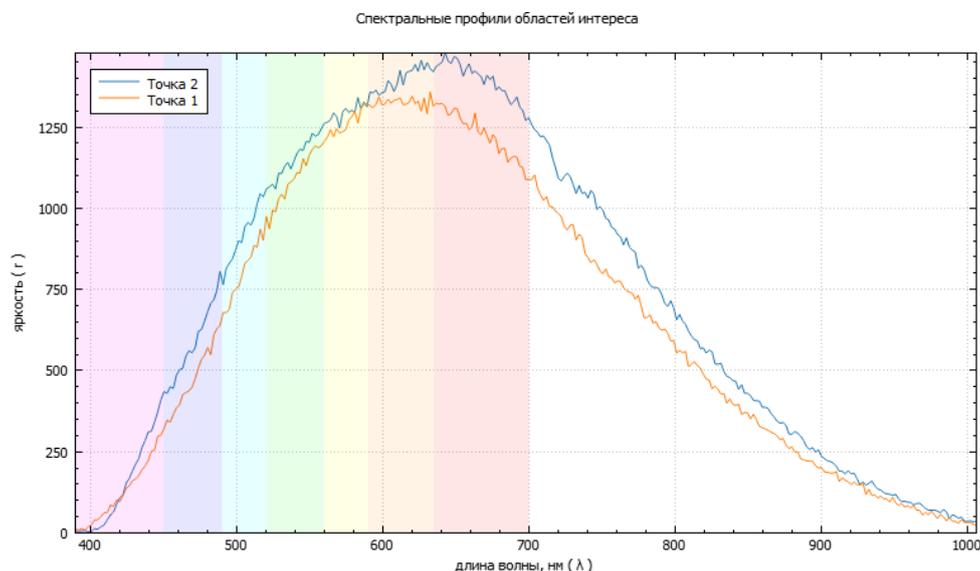


Рисунок 9. СХ полученные при помощи гиперспектральной системы «FS-23»

На графиках точка 1 соответствует тестовому образцу ручного отлива, а точка 2 соответствует образцу обычной бумаги. Как видно из рисунка 9, совпадение СХ практически отсутствует.

Заключение

Рассмотренные методы телевизионной спектральной визуализации и обработки получаемых изображений с целью формирования спектральных характеристик и спектральных гистограмм обеспечивают дифференциацию исследуемых образцов бумажной основы документов при разной степени сложности, быстродействия и точности.

Наиболее простые в технической реализации методы, связанные с формированием и анализом *rgb* изображений могут быть рекомендованы для экспресс-анализа больших массивов документов.

Более сложные в технической реализации методы, связанные с мульти- и гиперспектральной визуализацией, а также методы, требующие больших вычислительных ресурсов для анализа изображений, в частности построение спектральных гистограмм и спектральная селекция, могут быть рекомендованы для углубленных исследований документов, представляющих особый интерес.

Список литературы

1. Балаченкова А. П., Ляховицкий Е. А., Цыпкин Д. О. Проблемы и перспективы применения спектрально-аналитической визуализации в исследованиях памятников

письменности // Вестник Санкт-Петербургского университета. История. 2021. 66(3). 950-970. DOI: 10.21638/spbu02.2021.315

2. Методы и оборудование контроля качества полиграфических материалов: справочник для студентов специальностей 1-47 01 01 «Издательское дело», 1-47 02 01 «Технология полиграфических производств» / сост.: А. А. Губарев, М. А. Зильберглейт. Минск: БГТУ, 2012. 51 с.

3. Григорьева И. А., Колосова М. И., Хаврин С. В., Чугунова К. С. Особенности применения спектральных методов при исследовании музейных объектов // Фотография. Изображение. Документ. 2013. 4(4). 88-95.

4. Техничко-криминалистическая экспертиза документов: учебник / под редакцией: В. Е. Ляпичева, Н. Н. Шведовой. Волгоград: ВА МВД России, 2005. 268 с.

5. Деркачева О. Ю. Анализ ИК-спектров отражения исторических бумаг // Фотография. Изображение. Документ. 2013. 4(4). 23-31.

6. Борисов Д. И. Оптико-электронное устройство для оценки характеристик бумажной основы документов // Дни науки и инноваций НовГУ: материалы XXVII научной конференции преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ, Великий Новгород, 06–11 апреля 2020 года: в 3 ч. Ч. 3. Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2020. С. 120-126. DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.17

7. Корнышев Н. П., Лифар А. В., Ляховицкий Е. А., Родионов И. С., Цыпкин Д. О., Шеин Г. М. Телевизионные и оптико-электронные методы исследования исторических бумаг // Системы и средства связи телевидения и радиовещания. 2013. 1-2. 153-158.

8. Корнышев Н. П., Лифар А. В., Ляховицкий Е. А., Родионов И. С., Цыпкин Д. О., Шеин Г. М. Телевидение в исследовании исторических бумаг // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2014. 1. 30-37.

9. Корнышев Н. П., Родионов И. С., Ляховицкий Е. А. Оптико-электронные и телевизионные методы и средства в историко-бумажоведческих исследованиях рукописно-книжных памятников // Фотография. Изображение. Документ. 2013. 4(4). 63-72.

10. Обухова Н. А., Баранов П. С., Мотыко А. А., Чиркунова А. А. Гиперспектральная система анализа и восстановления архивных документов // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2023. 2. 32-43.

11. Зубарев Ю. Б., Сагдуллаев Ю. С., Сагдуллаев Т. Ю. Спектрозональные методы и системы в космическом телевидении // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2009. 1. 47-64.

12. Сагдуллаев Ю. С., Сагдуллаев Т. Ю. К вопросу выбора зон регистрации в спектрозональном телевидении // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2011. 2. 3-25.

13. Быков Р. Е. Основы телевидения и видеотехники: учебник для студентов вузов. Москва: Горячая линия –Телеком, 2006. 399 с.

14. Зубарев Ю. Б., Селькин В. В. Перестраиваемый ПЗС датчик в спектрозональной телевизионной системе // Техника средств связи. Серия: Техника телевидения. 1980. 5. 30-34.

15. Зубарев Ю. Б., Зайцева З. В., Главач А. А. [и др.] Оптимизация спектрального фильтра в оптическом звене прикладной телевизионной системы // Техника средств связи. Серия: Техника телевидения. 1991. 3. 33-41.

16. Калинин А. П., Орлов А. Г., Родионов И. Д. Авиационный гиперспектрометр // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2006. 3(64). 11-24.

17. Оптические узкополосные фильтры GCC-2010 в оправе // LASER components: официальный сайт. URL: <https://lasercomponents.ru/product/optika/interferentsionnye-filtry/opticheskie-uzkopolosnye-filtry/opticheskie-uzkopolosnye-filtry-gcc-2010-v-oprave> (дата обращения: 10.01.2024).
18. ГОСТ 9411-91. Е. Стекло оптическое цветное: технические условия / Комитет стандартизации и метрологии СССР. Москва. 1993. 49 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294820/4294820910.pdf?ysclid=lt1d3oi631731615840> (дата обращения: 10.01.2024).
19. Корнышев Н. П., Никитин Н. С., Андреева Е. В., Бутусов В. В., Тимофеева А. В. Патент № 116727 Российской Федерации, МПК H04N 7/18 (2006.01). Телевизионная спектральная система для исследования документов: № 2012101984/07, 2012.01.20, заявл. 2012.01.20: опубл. 2012.05.27 / патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт промышленного телевидения «Растр».
20. Корнышев Н. П. Новые возможности телевизионных спектральных систем // Фотография. Изображение. Документ. 2015. 6(6). 83-93.
21. Калитов М. А., Корнышев Н. П. Патент № 2754966 Российской Федерации, МПК H04N 7/18 (2006.01), G06T 7/136 (2017.01). Способ телевизионной спектральной селекции изображений объектов: № 2021105004, 2021.02.26, заявл. 2021.02.26: опубл. 2021.09.08 / патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого».
22. Прэтт У. Цифровая обработка изображений в 2-х кн. Кн. 2. / перевод с английского, под редакцией Д. С. Лебедева. Москва: Мир, 1982. 480 с.
23. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / перевод с английского В. В. Чепыжова. Москва: Техносфера, 2006. 616 с.
24. Старовойтов В. В., Голуб Ю. И. Получение и обработка изображений на ЭВМ: учебно-методическое пособие. Минск: БНТУ, 2018. 204 с.
25. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В. А. Сойфера. 2-е изд., испр. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 784 с.
26. Телевизионная спектральная система «Криминалист-2Ц» // АО НИИПТ «Растр»: официальный сайт. URL: <http://www.rastr.natm.ru/products/kriminal/models/kriminalist-2.htm> (дата обращения: 10.01.2024).
27. Imaging hyperspectral camera FS2X series // FIGSPEC: official website. URL: <https://www.figspec.com/en/h-col-141.html> (дата обращения: 20.12.2023).
28. Корнышев Н. П., Гареев В. М., Гареев М. В., Серебряков Д. А. Особенности формирования псевдогиперспектральных изображений из RGB компонент // Вестник НовГУ. 2023. 1(130). 169-177. DOI: 10.34680/2076-8052.2023.1(130).169-177

References

1. Balachenkova A.P., Lyakhovitskii E.A., Tsyppkin D.O. Problemy i perspektivy primeneniya spektrozonal'noy vizualizatsii v issledovaniyakh pamyatnikov pis'mennosti [Problems and prospects of application of multispectral imaging in the manuscript studies] // Vestnik of St. Petersburg State University. History. 2021. 66(3). 950-970. DOI: 10.21638/spbu02.2021.315
2. Metody i oborudovaniye kontrolya kachestva poligraficheskikh materialov: spravochnik dlya studentov spetsial'nostey 1-47 01 01 «Izdatel'skoye delo», 1-47 02 01 «Tekhnologiya poligraficheskikh proizvodstv» [Methods and equipment for quality control of printing materials: a reference book for students of specialties 1-47 01 01 "Publishing",

1-47 02 01 “Technology of Printing Production”] / compiled by: A. A. Gubarev, M. A. Zilbergleit. Minsk: BSTU, 2012. 51 p. /

3. Grigorieva I. A., Kolosova M. I., Khavrin S. V., Chugunova K. S. Osobennosti primeneniya spektral'nykh metodov pri issledovanii muzeynykh ob'yektov [Features of the use of spectral methods in the study of museum objects] // Photography. Image. Document. 2013. 4(4). 88-95.

4. Tekhniko-kriminalisticheskaya ekspertiza dokumentov: uchebnik [Technical and forensic examination of documents: textbook] / edited by V. E. Lyapicheva, N. N. Shvedova. Volgograd: Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2005. 268 p.

5. Dercacheva O. Yu. Analiz IK-spektrov otrazheniya istoricheskikh bumag [Analysis of IR reflection spectra of historical papers] // Photography. Image. Document. 2013. 4(4). 25-31.

6. Borisov D. I. Optiko-elektronnoye ustroystvo dlya otsenki kharakteristik bumazhnoy osnovy dokumentov [Optical-electronic device for assessing the characteristics of the paper base of documents] // NovSU Days of Science and Innovation: materials of the XXVII scientific conference of teachers, graduate students and students of NovSU, Veliky Novgorod, April 06–11, 2020: in 3 parts. Part 3. Veliky Novgorod: Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, 2020. P. 120-126. DOI: 10.34680/978-5-89896-668-3/2020.DN-3.17

7. Kornyshev N. P., Lifar A. V., Lyakhovitsky E. A., Rodionov I. S., Tsyppin D. O., Shein G. M. Televizionnyye i optiko-elektronnyye metody issledovaniya istoricheskikh bumag [Television and optical-electronic methods for studying historical papers] // Systems and television and radio communications. 2013. 1-2. 153-158.

8. Kornyshev N. P., Lifar A. V., Lyakhovitsky E. A., Rodionov I. S., Tsyppin D. O., Shein G. M. Televideniye v issledovanii istoricheskikh bumag [Television in study of the history papers] // Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya. 2014. 1. 30-37.

9. Kornyshev N. P., Rodionov I. S., Lyakhovitsky E.A. Optiko-elektronnyye i televizionnyye metody i sredstva v istoriko-bumagovedcheskikh issledovaniyakh rukopisno-knizhnykh pamyatnikov [Optical-electronic and television methods and means in historical and paper studies of manuscripts and book monuments] // Photography. Image. Document. 2013. 4(4). 63-72.

10. Obukhova N. A., Baranov P. S., Motyko A. A., Chirkunova A. A. Giperspektral'naya sistema analiza i vosstanovleniya arkhivnykh dokumentov [Hyperspectral document analysis and recovery system] // Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya. 2023. 2. 32-43.

11. Zubarev Yu.B., Sagdullaev Yu.S., Sagdullaev T.Yu. Spektrozonal'nyye metody i sistemy v kosmicheskom televidenii [Multi-wave-zones methods and systems in space TV] // Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya. 2009. 1. 47-64.

12. Sagdullaev T.Yu., Sagdullaev Yu.S. K voprosu vybora zon registratsii v spektrozonal'nom televidenii [To the question of the choice of zones of registration in spectrozonal television] // Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya. 2011. 2. 3-25.

13. Bykov R. E. Osnovy televideniya i videotekhniki: uchebnik dlya studentov vuzov [Fundamentals of television and video technology: a textbook for university students]. Moscow: Hot line –Telecom, 2006. 399 p.

14. Zubarev Yu. B., V. V. Selkin Perestraivayemyy PZS datchik v spektrozonal'noy televizionnoy sisteme [Tunable CCD sensor in a spectrozonal television system] // Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya. 1980. 5. 30-34.

15. Zubarev Yu. B., Zaitseva Z. V., Glavach A. A. [et al.] Optimizatsiya spektral'nogo fil'tra v opticheskom zvene prikladnoy televizionnoy sistemy [Optimization of

a spectral filter in the optical link of an applied television system] // Voprosy radioelektroniki. Seriya: Tekhnika televideniya. 1991. 3. 33-41.

16. Kalinin A.P., Orlov A.G., Rodionov I.D. Aviatsionnyy giperspektrometr [Aviation hyperspectrometer] // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering. 2006. 3(64). 11-24.

17. Opticheskiye uzkopolosnyye fil'try GCC-2010 v oprave [Optical narrowband filters GCC-2010 in a frame] // LASER components: official website. URL: <https://lasercomponents.ru/product/optika/interferentsionnye-fil'try/opticheskie-uzkopolosnye-fil'try/opticheskie-uzkopolosnye-fil'try-gcc-2010-v-oprave> (accessed: 10.01.2024).

18. GOST 9411-91. E. Steklo opticheskoye tsvetnoye: tekhnicheskiye usloviya [Colored optical glass: technical conditions] / Committee for Standardization and Metrology of the USSR. Moscow. 1993. 49 p. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294820/4294820910.pdf?ysclid=lt1d3oi631731615840> (accessed: 10.01.2024).

19. Kornyshev N. P., Nikitin N. S., Andreeva E. V., Butusov V. V., Timofeeva A. V. Patent No. 116727 of the Russian Federation, IPC H04N 7/18 (2006.01). Televizionnaya spektral'naya sistema dlya issledovaniya dokumentov [Television spectral system for document research]: No. 2012101984/07, 2012.01.20, application 2012.01.20: publ. 2012.05.27 / patent holder Open Joint Stock Company "Research Institute of Industrial Television "Rastr".

20. Kornyshev N. P. Novyye vozmozhnosti televizionnykh spektral'nykh sistem [New possibilities of television spectral systems] // Photography. Image. Document. Saint-Petersburg, 2015. 6(6). 83-93.

21. Kalitov M. A., Kornyshev N. P. Patent No. 2754966 of the Russian Federation, IPC H04N 7/18 (2006.01), G06T 7/136 (2017.01). [Method for television spectral selection of images of objects]: № 2021105004, 2021.02.26, application 2021.02.26: publ. 2021.09.08 / patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslav-the-Wise Novgorod State University".

22. Pratt W. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Digital image processing] in 2 books. Book 2. / translated from English, edited by D. S. Lebedev. Moscow: Mir, 1982. 480 p.

23. Gonzalez R., Woods R., Eddins S. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede MATLAB [Digital image processing in MATLAB] / translated from English by V. V. Chepyzhov. Moscow: Technosfera, 2006. 616 p.

24. Starovoitov V. V., Golub Yu. I. Polucheniye i obrabotka izobrazheniy na EVM: uchebno-metodicheskoye posobiye [Receiving and processing images on a computer: educational manual]. Minsk: BNTU, 2018. 204 p.

25. Metody komp'yuternoy obrabotki izobrazheniy [Methods of computer image processing] / edited by V. A. Soifer. 2nd ed., rev. Moscow: FIZMATLIT, 2003. 784 p.

26. Televizionnaya spektral'naya sistema «Kriminalist-2TS» [Television spectral system "Criminalist-2C"] // JSC NIPT "Rastr": official website. URL: <http://www.rastr.natm.ru/products/kriminal/models/kriminalist-2.htm> (accessed: 10.01.2024).

27. Imaging hyperspectral camera FS2X series // FIGSPEC: official website. URL: <https://www.figspec.com/en/h-col-141.html> (accessed: 20.12.2023).

28. Kornyshev N. P., Gareev V. M., Gareev M. V., Serebryakov D. A. Osobennosti formirovaniya psevdogiperspektral'nykh izobrazheniy iz RGB komponent [Features of the formation of pseudo-hyperspectral images from RGB components] // Vestnik NovSU. 2023. 1(130). 169-177. DOI: 10.34680/2076-8052.2023.1(130).169-177

Информация об авторах

Гареев Владимир Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией «Техническое зрение», Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0003-1585-6792, Vladimir.Gareev@novsu.ru

Гареев Михаил Владимирович – ведущий инженер, лаборатория «Техническое зрение», Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0007-1392-2169, Mikhail.Gareev@novsu.ru

Калитов Михаил Андреевич – ведущий инженер, АО «ЭЛСИ» (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0002-9419-2447, mikhail.kalitov@yandex.ru

Корнышев Николай Петрович – доктор технических наук, доцент, профессор, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0005-3177-2040, Nikolai.Kornishev@novsu.ru

Серебряков Дмитрий Александрович – ассистент, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0000-5994-5090, s231099@std.novsu.ru