

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СПЕКТРОЗОНАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Н.П.Корнышев, М.А.Калитов, А.С.Сенин*

STUDY OF THE METHOD OF DIFFERENTIAL SPECTRAL VISUALIZATION

N.P.Kornyshev, M.A.Kalitov, A.S.Senin*

Институт электронных и информационных систем НовГУ, Nikolai.Kornishev@novsu.ru

*ЗАО «ЭЛСИ», Великий Новгород

Рассматриваются вопросы применения дифференциального метода спектрозональной визуализации. Оценивается соответствие результатов обработки спектральных электрических сигналов результатам формирования спектральных зон оптическими методами. Приводятся результаты моделирования с использованием изображений реальных объектов.

Ключевые слова: спектрозональная визуализация, обработка спектрозональных изображений

This paper considers the problems of using the method of differential spectral visualization. The correspondence between differential spectral electric signals and spectral zones formed by optical methods are estimated. The results of simulation using the images of real objects are presented.

Keywords: spectral visualization, spectral image processing

Методы спектрозональной визуализации в настоящее время представляют большой интерес, поскольку позволяют в значительной мере расширить возможности оптико-электронных систем (ОЭС), формирующих изображения в различных диапазонах спектра, за счет извлечения дополнительной визуальной информации о наблюдаемых объектах интереса. В литературе, например в [1-9], достаточно полно представлен арсенал таких методов.

Один из данных методов, а именно метод дифференциальной спектрозональной визуализации, заключающийся в формировании дополнительных разностных изображений, соответствующих узким участкам спектрального диапазона, из исходных широкодиапазонных изображений [2], представляет особый интерес, поскольку позволяет получить дополнительную видеoinформацию без увеличения аппаратных затрат. Это обстоятельство является немаловажным при оптимизации ОЭС.

Сущность метода дифференциальной спектрозональной визуализации заключается в том, что из светового потока в общем спектральном интервале $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс}}$ оптическим путем выделяют n спектрозональных световых потоков в расширенных зонах регистрации, соответствующих интервалам длин волн $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс}}$, $\lambda_2 \div \lambda_{\text{макс}}$, ..., $\lambda_n \div \lambda_{\text{макс}}$, причем $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n < \lambda_{\text{макс}}$. Затем формируют электрические сигналы, пропорциональные яркости света в элементах спектрозональных изображений, и получают соответствующие цифровые коды $U_1, U_2 \dots U_n$, из которых формируют разностные выходные цифровые коды $U_{\text{вых}1} = U_1 - U_2$, $U_{\text{вых}2} = U_2 - U_3$, ..., $U_{\text{вых}n} = U_{n-1} - U_n$, соответствующие узким зонам регистрации $\lambda_1 \div \lambda_2$, $\lambda_2 \div \lambda_3$, ..., $\lambda_{n-1} \div \lambda_n$ [2].

Таким образом, в отличие от выделения спектральных интервалов оптическими методами рассматриваемый метод предполагает работу не со спектральными потоками излучения, а с их функ-

циями — электрическими сигналами, пропорциональными этим потокам. Если для выделения узкой зоны регистрации из пары перекрывающихся расширенных зон в оптическом канале реализуется фактически перемножение спектральных характеристик (коэффициентов пропускания на соответствующих частотах), то в рассматриваемом способе эквивалентное выделение реализуется вычитанием электрических сигналов, получаемых от соответствующих диапазонов спектра и соответствующих пространственному распределению яркости в этих диапазонах.

В связи с указанным выше различием в процессах формирования спектрозональных сигналов — оптическом и электрическом, возникает необходимость проверки их эквивалентности. Иными словами, возникают вопросы: является ли визуальная информация, получаемая при использовании дифференциального метода, в достаточной мере адекватной, в какой степени получаемый разностный сигнал соответствует видеoinформации, имеющейся в узкой зоне регистрации, выделяемой оптическим путем?

В известной литературе этому обстоятельству не уделено достаточного внимания, кроме того, отсутствуют практические рекомендации по данному методу, имеется также явный дефицит в опубликованных результатах его моделирования и применения.

Целью данной статьи является ознакомление с результатами компьютерного моделирования метода дифференциальной спектрозональной визуализации и качественной оценкой соответствия получаемых результатов оптическому методу формирования спектрозональных сигналов.

Для оценки соответствия получаемой визуальной информации по дифференциальному методу формируются три узкие зоны регистрации, соответствующие трехкомпонентному цветовому восприятию зрительным анализатором человека, а именно, соот-

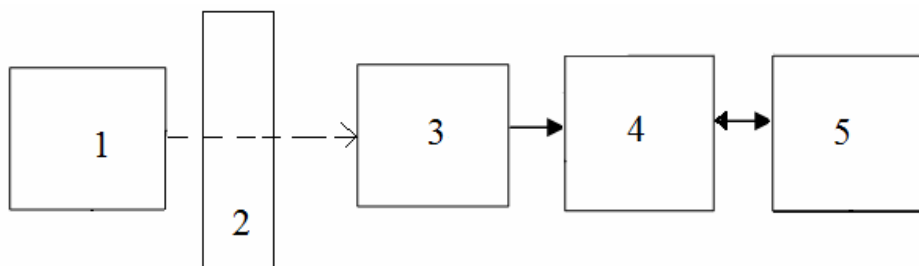


Рис.1. Структурная схема телевизионной установки для моделирования дифференциального метода спектрально-анализа: 1 — объектив, 2 — телевизионная камера, 3 — сменные светофильтры, 4 — устройство ввода изображений, 5 — ПЭВМ

ветствующие компонентам красного, зеленого и синего (R , G и B). Для этого подбираются 4 исходных расширенных зоны регистрации с границами $\lambda_1 \approx 400$ нм, $\lambda_2 \approx 500$ нм, $\lambda_3 \approx 600$ нм, $\lambda_4 \approx 700$ нм и $\lambda_{\text{макс}} \approx 1000$ нм, что обеспечивает формирование узких зон регистрации $R = 600 \div 700$ нм, $G = 500 \div 600$ нм и $B = 400 \div 500$ нм. Максимумы основных цветов в системе RGB : $R = 655$ нм, $G = 520$ нм и $B = 470$ нм соответствуют данным интервалам.

Методика эксперимента

Моделирование процесса получения цветного изображения из нескольких широкодиапазонных спектрально-анализируемых зон спектра

Исходные изображения были получены от телевизионной установки (структурная схема рис.1),

состоящей из черно-белой телевизионной камеры 2 стандартной чувствительности с объективом 1 и линией 3 сменных светофильтров, размещаемых в заднем рабочем отрезке объектива, устройства ввода изображений 4 и ПЭВМ 5.

В линейке использовались светофильтры из набора стандартных цветных стекол типа КС19, КС11, ЖС18 и ЖС4, имеющих крутые перепады спектральной характеристики, а также расширенные зоны регистрации вплоть до ближней инфракрасной области спектра при спектральных характеристиках, достаточно близких к прямоугольным.

На рис.2 приведены спектральные характеристики стандартных светофильтров типа КС19, КС11, ЖС18, ЖС4 с расширенными спектральными интервалами $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс}}$, $\lambda_2 \div \lambda_{\text{макс}}$, $\lambda_3 \div \lambda_{\text{макс}}$, $\lambda_4 \div \lambda_{\text{макс}}$ в общем диапазоне длин волн $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс}}$.

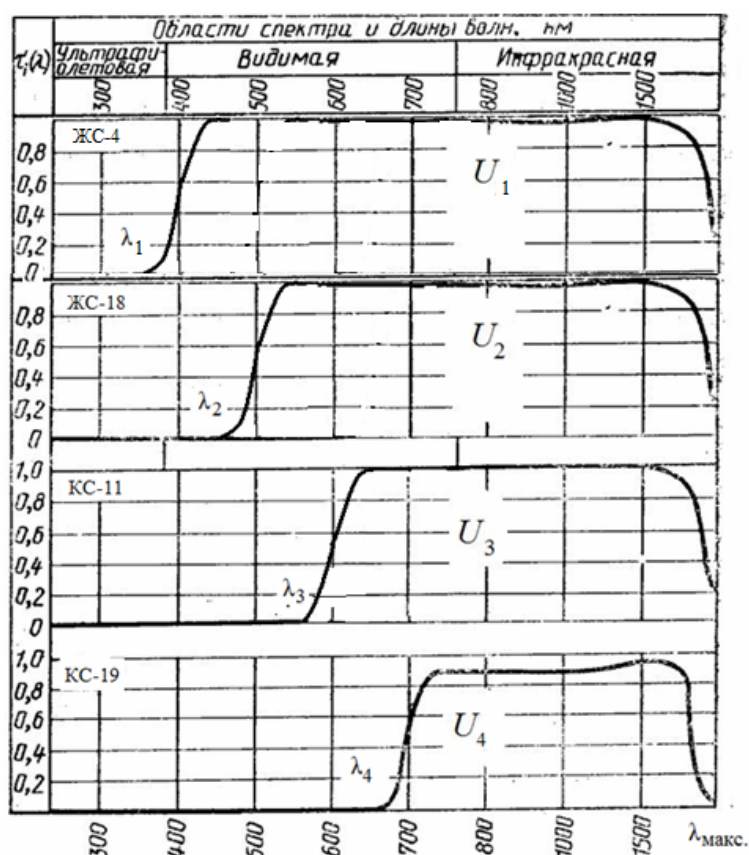


Рис.2. Спектральные характеристики стандартных светофильтров типа КС19 КС11 ЖС18 ЖС4 для расширенных спектральных интервалов $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс}}$, $\lambda_2 \div \lambda_{\text{макс}}$, $\lambda_3 \div \lambda_{\text{макс}}$, $\lambda_4 \div \lambda_{\text{макс}}$ в общем диапазоне длин волн $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс}}$

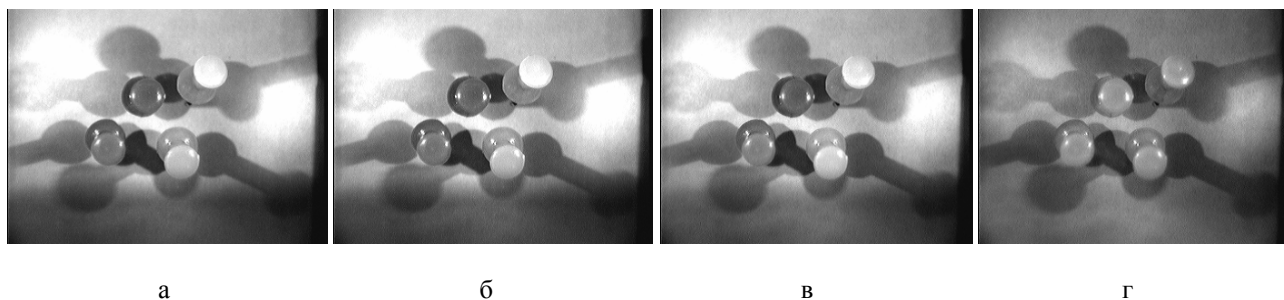


Рис.3. Исходные спектрозональные телевизионные изображения с расширенными зонами регистрации, соответствующими спектральным характеристикам: ЖС4 (а), ЖС18 (б), КС11 (в) и КС19 (г)

Указанным выше расширенным спектральным интервалам соответствуют исходные световые потоки, преобразуемые в цифровые коды U_1 , U_2 , U_3 , U_4 , пропорциональные яркости для соответствующих элементов исходных спектрозональных телевизионных изображений, представленным на рис.3.

При приведенном выше выборе расширенных спектральных интервалов формирование разностных изображений U_1-U_2 , U_2-U_3 , U_3-U_4 обеспечивает их соответствие красной, зеленой и синей областям спектра. Таким образом, формирование RGB компонент в соответствии с выражениями $R = U_1 - U_2$, $G = U_2 - U_3$, $B = U_3 - U_4$ и результирующего RGB изображения позволяет проверить адекватность цветопередачи визуализируемого объекта.

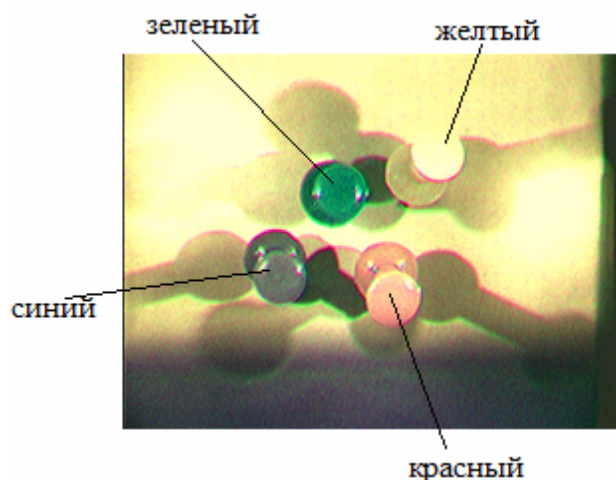


Рис.4. RGB изображение, полученное из исходных спектрозональных телевизионных изображений с расширенными зонами регистрации

Результирующее RGB изображение, полученное при моделировании путем вычитания с последующей дополнительной яркостной коррекцией и балансом белого, приведено на рис.4. В нем наблюдается эффект цветопередачи визуализируемого объекта. Однако полного соответствия цветопередачи при этом не достигается. Отмечается также недостаток в насыщенности получаемых цветов. Таким образом, дифференциальный метод может быть использован, в частности, для получения цветного изображения из широкодиапазонных спектрозональных изображений с целью расширения функциональных возможностей спектрозональной аппаратуры при отсутствии жестких требований по его качеству.

Моделирование процессов получения разностных изображений из RGB компонент цветного изображения

Ниже приведены результаты моделирования процессов получения разностных изображений и RGB компонент цветного изображения с целью оценки возможности и целесообразности извлечения из них дополнительной спектрозональной информации рассматриваемым дифференциальным методом.

При моделировании из исходного цветного изображения выделялись RGB компоненты (рис.5) и формировались разностные изображения: $R-G$, $G-B$ и $B-R$ (рис.6). Разностные изображения характеризуются сужением зоны регистрации, что обеспечивает цветовую селекцию объектов в соответствии с их спектральными свойствами.

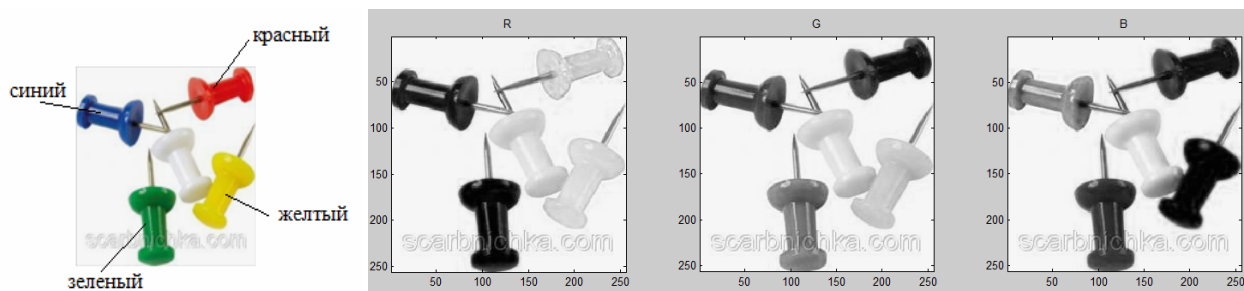
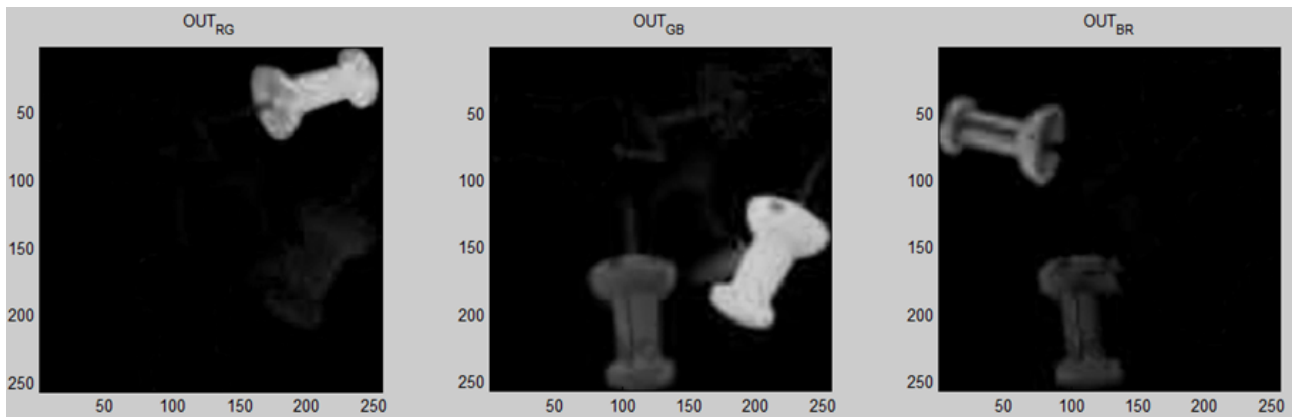
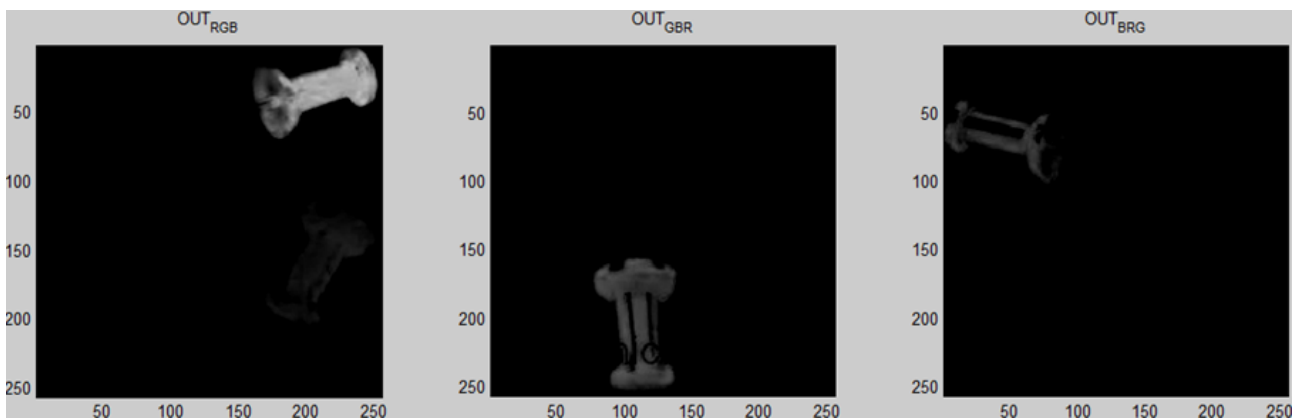


Рис.5. Исходное цветное изображение (слева) и его RGB компоненты

Рис.6. Разностные изображения, полученные из исходных *RGB* компонент: *R-G* (слева), *G-B* (в центре), *B-R* (справа)Рис.7. Разностные изображения, полученные из исходных *RGB* компонент: *R-G-B* (слева), *G-B-R* (в центре), *B-R-G* (справа)

Действительно, в разностном изображении *R-G* наблюдается только красный объект, разностном изображении *G-B* наблюдается желтый и зеленый объект, причем уровень сигнала от желтого объекта является преобладающим, а в разностном изображении *B-R* наблюдается только синий и зеленый объект, причем преобладающим является уровень сигнала от синего объекта.

Таким образом, дифференциальный метод может быть использован, в частности, для цветовой селекции объектов при использовании *RGB* компонент цветного изображения.

Кроме этого, формировались разностные изображения *R-G-B*, *G-B-R* и *B-R-G* (рис.7) с дополнительно суженными зонами регистрации. Дополнительное сужение зон регистрации проявляется, в частности, в подавлении сигнала от желтого объекта в зеленой области спектра и в подавлении сигнала от зеленого объекта в синей области спектра.

Практический интерес представляет оценка возможности и целесообразности применения дифференциального метода для пар взаимно перекрывающихся спектральных изображений с диапазонами $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс1}}$, $\lambda_2 \div \lambda_{\text{макс2}}$, причем $\lambda_1 < \lambda_{\text{макс1}}$, $\lambda_2 < \lambda_{\text{макс2}}$ при $\lambda_2 < \lambda_{\text{макс1}}$. Ниже рассматривается моделирование

данного процесса при использовании *RGB* компонент.

Пара взаимно перекрывающихся изображений U_1 , U_2 с условием $\lambda_1 < \lambda_{\text{макс1}}$, $\lambda_2 < \lambda_{\text{макс2}}$ при $\lambda_2 < \lambda_{\text{макс1}}$ была сформирована следующим образом: $U_1 = B+G$, $U_2 = R$. Моделировались следующие варианты получения разностных изображений $U_{\text{вых1}} = U_1 - U_2$, $U_{\text{вых2}} = U_2 - U_1$, $U_{\text{вых3}} = \bar{U}_1 - U_2$, где $\bar{U}_1$ — инверсия U_1 , а также вариант получения половины суммы $U_{\text{вых4}} = (U_1 - U_2)/2$.

Полученные изображения сравнивались между собой на предмет выявления в них различий, а также соответствия преобладающего в них сигнала исходному цвету объектов. Исходные и результирующие изображения для рассматриваемого случая приведены на рис.8.

Поскольку варианты разностных изображений соответствуют трем суженным зонам регистрации, а именно красной, зеленой и сине-зеленой зоне, то в них доминируют объекты соответствующих цветов, что свидетельствует об адекватности выделения дифференциальным методом сигналов для трех узких зон из пары взаимно перекрывающихся спектральных изображений.

Ниже приводятся примеры применения данного подхода для визуализации смежных перекрывающихся участков в видимой и ближней инфракрасной (ИК) области спектра.

Моделирование процессов получения разностных изображений на смежных перекрывающихся участках видимой и ближней инфракрасной области спектра

В качестве визуализируемого объекта использовался фрагмент иконы. Спектрозональные изображения, полученные в смежных перекрывающихся участках видимого и ближнего ИК диапазона спектра, взаимно вычитались и формировались следующие разностные изображения: $U_{\text{вых}1} = U_{625\text{ нм}} - U_{590\text{ нм}}$, $U_{\text{вых}2} = U_{910\text{ нм}} - U_{870\text{ нм}}$, $U_{\text{вых}3} = U_{505\text{ нм}} - U_{470\text{ нм}}$. Перекрывающиеся области спектра для рассмотренных пар изображений примерно оцениваются $\approx 25\text{-}30\text{ нм}$ и располагаются между соответствующими, указанными в нижних индексах при переменной U максимумами.

Дополнительно формировались изображения соответственно суммы и разности при инверсии первого изображения: $U'_{\text{вых}1} = \bar{U}_{625\text{ нм}} + U_{590\text{ нм}}$, $U''_{\text{вых}1} = \bar{U}_{625\text{ нм}} - U_{590\text{ нм}}$, $U'_{\text{вых}2} = \bar{U}_{910\text{ нм}} + U_{870\text{ нм}}$, $U''_{\text{вых}2} = \bar{U}_{910\text{ нм}} - U_{870\text{ нм}}$, $U'_{\text{вых}3} = \bar{U}_{505\text{ нм}} + U_{470\text{ нм}}$, $U''_{\text{вых}3} = \bar{U}_{505\text{ нм}} - U_{470\text{ нм}}$. Полученные изображения визуально сравнивались между собой на предмет выявления в них различий.

Результаты моделирования приведены на рис.9. Из него видно, что сформированные дифференциальным методом изображения имеют существенные отличия в деталях и несут дополнительную зрительную информацию об объекте визуализации. В частности, такая информация может быть использована при изучении объектов культурного наследия и при проведении с ними реставрационных работ наряду с традиционными методами телевизионной визуализации [10-13].

Выводы

1. Проведенное моделирование процессов преобразования изображений по дифференциальному методу спектрозональной визуализации [2] показывает дополнительные возможности его эффективного использования с целью расширения сервисных функций телевизионной спектрозональной аппаратуры.
2. При соответствующем выборе расширенных зон регистрации метод обеспечивает дополнительную возможность цветопередачи визуализируемого объекта.
3. Применение дифференциального метода для RGB компонент цветного сигнала обеспечивает возможность цветовой селекции визуализируемых объектов.
4. Применение дифференциального метода спектрозональной визуализации для обработки изображений на смежных участках видимого и инфра-

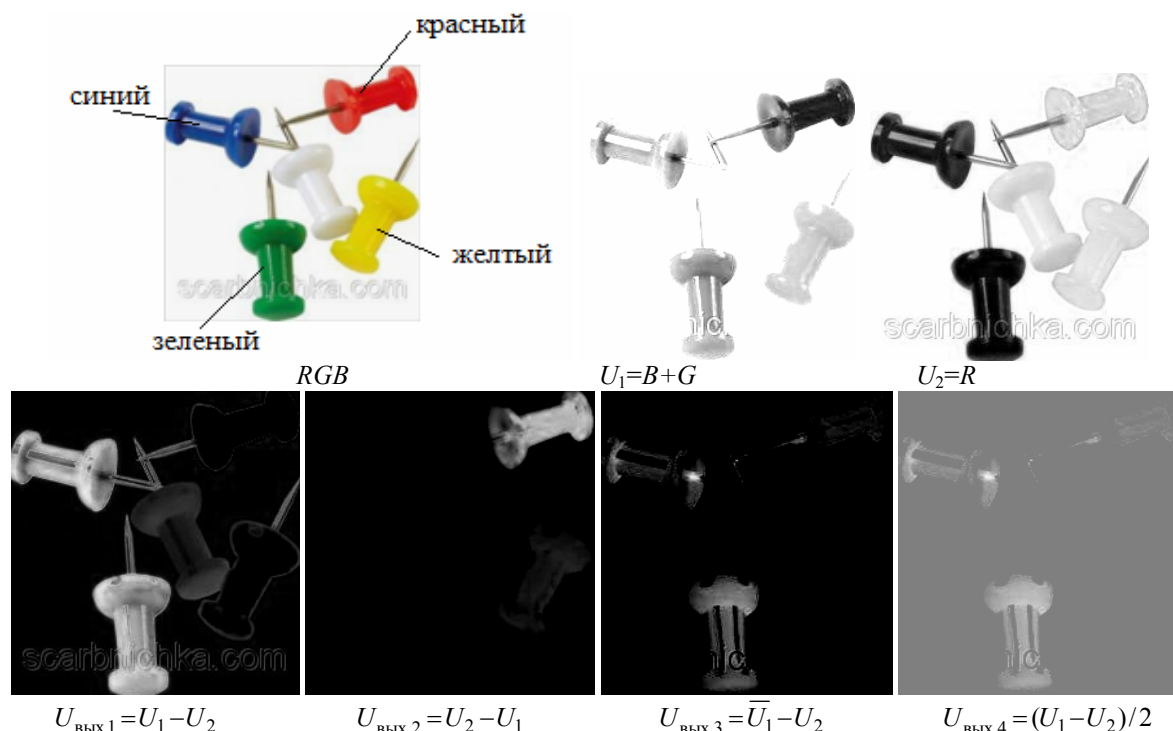


Рис.8. Изображения (нижний ряд), полученные из исходных RGB компонент (верхний ряд), на основе дифференциального метода

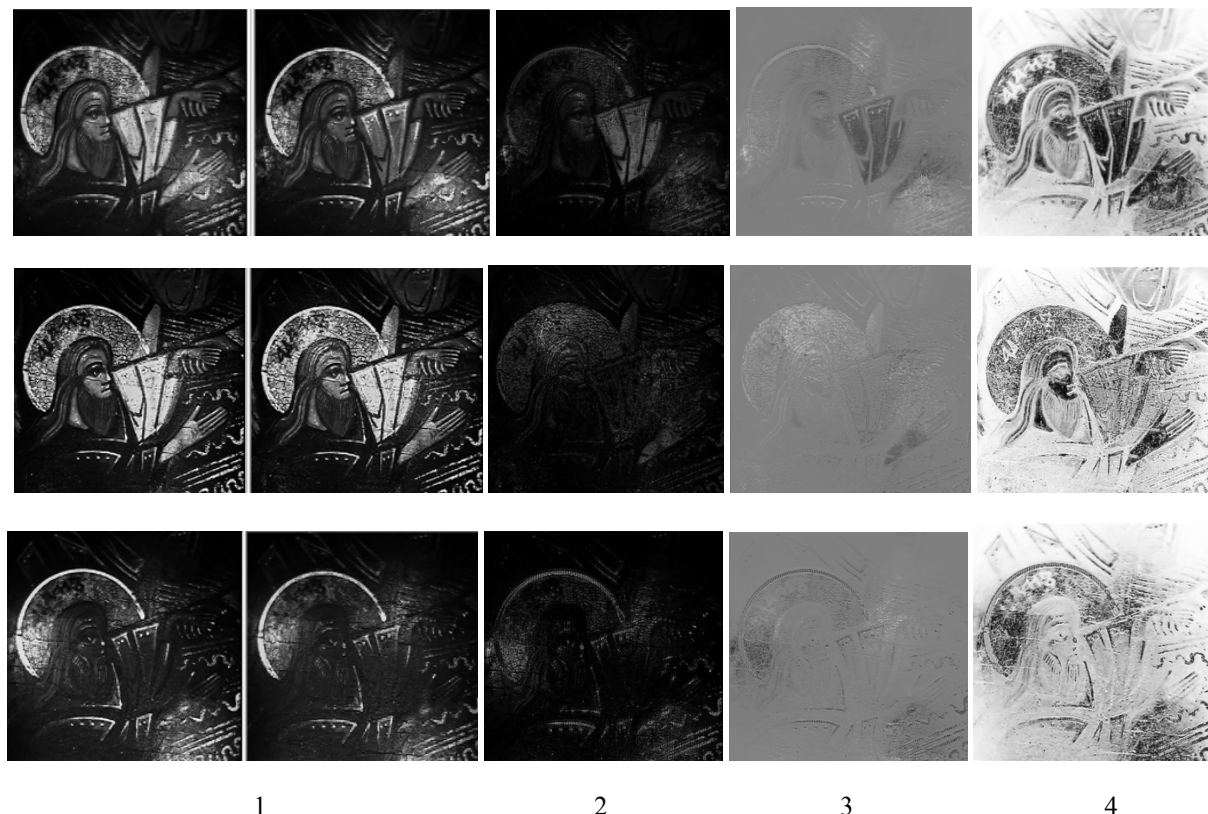


Рис.9. Результаты моделирования: 1 — изображения исходные, 2 — разностные, 3 — сумма при инверсии, 4 — разность при инверсии. Верхний ряд соответствует диапазонам $U_{625\text{nm}} \div U_{590\text{nm}}$, средний ряд — $U_{910\text{nm}} \div U_{870\text{nm}}$, нижний ряд — $U_{625\text{nm}} \div U_{590\text{nm}}$

красного диапазона спектра обеспечивает возможность получения дополнительной визуальной информации об исследуемых объектах.

1. Зубарев Ю.Б., Сагдуллаев Ю.С., Сагдуллаев Т.Ю. Спектрозональные методы и системы в космическом телевидении // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2009. Вып.1. С.47-64
2. Сагдуллаев Ю.С., Сагдуллаев Т.Ю. К вопросу выбора зон регистрации в спектрозональном телевидении // Вопросы радиоэлектроники. 2011. Сер.: Техника телевидения. Вып.2. С.20.
3. Быков Р.Е. Основы телевидения и видеотехники: учебник для студентов вузов. М.: Горячая линия–Телеком, 2006. 399 с.
4. Зубарев Ю.Б., Селькин В.В. Перестраиваемый ПЗС датчик в спектрозональной телевизионной системе. // Техника средств связи. Сер.: Техника телевидения. 1980. №5. С.30-34.
5. Зубарев Ю.Б., Зайцева З.В., Главач А.А. и др. Оптимизация спектрального фильтра в оптическом звене прикладной телевизионной системы. // Техника средств связи. Сер.: Техника телевидения. 1991. Вып.3. С.33-41.
6. Козин С.Д., Сагдуллаев Ю.С. Спектрозональное телевидение и тепловидение в задачах селекции и идентификации объектов // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2013. Вып.2. С.123-135.
7. Dyer J., Verri G., Cupitt J. Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual. The British Museum, 2013. 192 с.
8. Levenson R.M. et al. Multiplexing with Multispectral Imaging: From Mice to Microscopy // ILAR J. 2008. Вып.49(1). С.78-88.
9. MacDonald L. et al. Multispectral Imaging of Degraded Parchment // Proc. 4th Int. Workshop on Computational Color Imaging (CCIW 2013). Chiba, 2013. P.143-157.

10. Корнышев Н.П., Ляховицкий Е.А., Родионов И.С. Оптико-электронные и телевизионные методы и средства в историко-бумажоведческих исследованиях рукописно-книжных памятников // Фотография. Изображение. Документ. 2013. Вып.4(4). С.65-72.
11. Корнышев Н.П., Лифар А.В., Ляховицкий Е.А. и др. Телевизионные и оптико-электронные методы исследования исторических бумаг // Системы и средства связи телевидения и радиовещания. 2013. №1-2. С.153-158.
12. Корнышев Н.П., Лифар А.В., Ляховицкий Е.А. и др. Телевидение в исследовании исторических бумаг // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2014. Вып.1. С.30-37.
13. Корнышев Н.П. Новые возможности телевизионных спектральных систем // Фотография. Изображение. Документ. 2015. Вып.6(6). С.89-93.

References

1. Zubarev Iu.B., Sagdullaev Iu.S., Sagdullaev T.Iu. Spektrozonal'nye metody i sistemy v kosmicheskom teledenii [Multi-wave-zones methods and systems in space TV]. Voprosy radioelektroniki. Ser. Tekhnika teledeniia – Questions of radio-electronics. The TV equipment series, 2009, no. 1, pp. 47-64.
2. Sagdullaev Iu.S., Sagdullaev T.Iu. K voprosu vybora zon registratsii v spektrozonal'nom teledenii [To the question of the choice of zones of registration in spectrozonal television]. Voprosy radioelektroniki. Ser. Tekhnika teledeniia – Questions of radio-electronics. The TV equipment series, 2011, no. 2, p. 20.
3. Bykov R.E. Osnovy teledeniia i videotekhniki [Foundations of television and video technology]. Moscow, "Goriachaia liniia–Telekom" Publ., 2006. 399 p.
4. Zubarev Iu.B., Sel'kin V.V. Perestraivaemyi PZS datchik v spektrozonal'noi teledionnoi sisteme [Tunable CCDs for spectrozonal television systems]. Tekhnika sredstv svyazi. Ser. Tekhnika teledeniia, 1980, no. 5, pp. 30-34.
5. Zubarev Iu.B., Zaitseva Z.V., Glavach A.A. et al. Optimizatsiia spektral'nogo fil'tra v opticheskom zvene prikladnoi

- televiszionnoi sistemy [Optimization of spectral filters in the optical sector of application-oriented television system]. Tekhnika sredstv svyazi, seriia Tekhnika televideniia, 1991, no. 3, pp. 33-41.
6. Kozin S.D., Sagdullaev Iu.S. Spektrozonol'noe televidenie i teplovidenie v zadachakh selektsii i identifikatsii ob"ektov [Spectrozonol television and thermovision in problems of selection and identification of objects]. Voprosy radioelektroniki. Ser. Tekhnika televideniia – Questions of radio-electronics. The TV equipment series, 2013, no.2, p.123-135.
 7. Dyer J., Verri G., Cupitt J. Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual. The British Museum Publ., 2013. 192 p.
 8. Levenson R.M. et al. Multiplexing with multispectral imaging: From mice to microscopy. ILAR Journal, 2008, no. 49(1), pp. 78-88.
 9. MacDonald L. et al. Multispectral imaging of degraded parchment. Proc. 4th Int. Workshop on Computational Color Imaging (CCIW 2013). Chiba, 2013, pp. 143-157.
 10. Kornyshev N.P., Liakhovitskii E.A., Rodionov I.S. Optiko-elektronnye i televizionnye metody i sredstva v istoriko-bumagovedcheskikh issledovaniiax rukopisno-kniznykh pamiatnikov [Optical-electronic and television methods of historical researches of hand-written and book monuments]. Fotografiia. Izobrazhenie. Dokument – Photograph. Image. Document: Collection of Scientific Articles, 2013, no. 4(4), pp. 63-72.
 11. Kornyshev N.P., Lifar A.V., Liakhovitskii E.A. et al. Televizionnye i optiko-elektronnye metody issledovaniia istoricheskikh bumag [Television and optical-electronic methods of studying historical papers]. Sistemy i sredstva svyazi televideniia i radioveshchaniia, 2013, no.1-2, pp. 153-158.
 12. Kornyshev N.P., Lifar A.V., Liakhovitskii E.A. et al. Televidenie v issledovanii istoricheskikh bumag [Television in study of the history papers]. Voprosy radioelektroniki. Ser. Tekhnika televideniia – Questions of radio-electronics. The TV equipment series, 2014, no. 1, pp. 30-37.
 13. Kornyshev N.P. Novye vozmozhnosti televizionnykh spektral'nykh sistem [New possibilities of television spectrum systems]. Fotografiia. Izobrazhenie. Dokument – Photograph. Image. Document: Collection of Scientific Articles, 2015, no. 6(6), pp. 89-93.