

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОГО МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

М.А.Калитов, Н.П.Корнышев

COMPUTER SIMULATION OF A MULTIPLICATIVE METHOD FOR GENERATING DIGITAL SPECTRAL IMAGES

M.A.Kalitov, N.P.Kornyshev

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Nikolai.Kornyshev@novsu.ru

Рассматриваются особенности формирования цифровых спектрозональных изображений, соответствующих узким зонам регистрации. Анализируются процессы сигнальных преобразований при мультипликативном методе формирования цифровых спектрозональных изображений. Обсуждаются результаты компьютерного моделирования с целью качественного и количественного сравнения изображений, получаемых при дифференциальной и при мультипликативной цифровой спектрозональной визуализации. Приводятся спектральные характеристики, соответствующие исходным спектрозональным изображениям. Проиллюстрирован пример изображений тестовых объектов, полученных дифференциальным и мультипликативным методом из исходных цифровых спектрозональных изображений. Показывается преимущество мультипликативного метода по сравнению с дифференциальным методом при количественном сравнении максимальных и минимальных значений отсчетов яркости в соответствующих результирующих спектрозональных изображениях.

Ключевые слова: спектрозональные изображения, регистрация световых потоков, преобразования сигналов

The article discusses the features of the formation of digital spectral images corresponding to narrow registration zones. The processes of signal transformations are analyzed with the multiplicative method of forming digital spectral images. Computer simulation results are discussed with the purpose of qualitative and quantitative comparison of images obtained in differential and multiplicative digital spectral imaging. The spectral characteristics corresponding to the initial multispectral images are presented. An example of images of test objects obtained by the differential and multiplicative method from the original digital spectral images is illustrated. The advantage of the multiplicative method in comparison with the differential method is shown for a quantitative comparison of the maximum and minimum values of brightness samples in the corresponding resulting spectral images.

Keywords: spectral images, registration of light fluxes, signal transformations

Введение

Цифровая спектрозональная визуализация предполагает преобразование цифровых копий исходных спектрозональных изображений с целью формирования сигналов, соответствующих новым зонам регистрации спектра излучения. Среди цифровых методов практический интерес представляют дифференциальные методы [1-7].

Так, в частности, по методу, описанному в [5,6], формирование цифровых спектрозональных телевизионных сигналов осуществляется следующим образом. Исходные матрицы $U_1, U_2 \dots U_n$, отсчетов яркости спектрозональных изображений получают в перекрывающихся интервалах длин волн $\lambda_1 \div \lambda_{\max}, \lambda_2 \div \lambda_{\max}, \dots, \lambda_n \div \lambda_{\max}$, где $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n < \lambda_{\max}$. Затем вычисляют разности $U_{\text{вых1}} = U_1 - U_2, U_{\text{вых2}} = U_2 - U_3, \dots, U_{\text{вых } n-1} = U_{n-1} - U_n$, соответствующие узким зонам регистрации $\lambda_1 \div \lambda_2, \lambda_2 \div \lambda_3, \dots, \lambda_{n-1} \div \lambda_n$. Результирующие матрицы отсчетов яркости спектрозональных изображений формируют в соответствии с выражениями $U_{\text{вых1}}^* = (U_{\text{вых1}} + U_{\max})/2, U_{\text{вых2}}^* = (U_{\text{вых2}} + U_{\max})/2, \dots, U_{\text{вых } n-1}^* = (U_{\text{вых } n-1} + U_{\max})/2$, где $U_{\max}$ — максимально возможное значение цифрового кода.

Однако получаемые дифференциальные изображения, как правило, обладают малым контрастом, поскольку разности соответствующих отсчетов яркости $U_{\text{вых1}} = U_1 - U_2, U_{\text{вых2}} = U_2 - U_3, \dots,$

$U_{\text{вых } n-1} = U_{n-1} - U_n$ весьма малы по сравнению с динамическим диапазоном возможного изменения сигнала.

Целью данной статьи является ознакомление с результатами компьютерного моделирования метода мультипликативной спектрозональной визуализации, заключающейся в перемножении исходных спектрозональных сигналов, полученных в перекрывающихся зонах регистрации.

Результаты и обсуждение

Обсуждаемый метод мультипликативной спектрозональной визуализации заключается в формировании матриц отсчетов яркости спектрозональных изображений, соответствующих узким зонам регистрации $\lambda_1 \div \lambda_2, \lambda_2 \div \lambda_3, \dots, \lambda_{n-1} \div \lambda_n$, путем следующих преобразований. Вычисления производят по формулам $U_1^1 = [U_2 \times (U_{\max} - U_1)], U_2^1 = [U_3 \times (U_{\max} - U_2)], \dots, U_{n-1}^1 = [U_n \times (U_{\max} - U_{n-1})]$. Возможен также вариант вычисления по формулам $U_1^1 = [U_1 \times (U_{\max} - U_2)], U_2^1 = [U_2 \times (U_{\max} - U_3)], \dots, U_{n-1}^1 = [U_{n-1} \times (U_{\max} - U_n)]$.

Затем определяют максимальные значения $U_{1 \max}^1, U_{2 \max}^1, \dots, U_{n-1 \max}^1$ соответствующих матриц $U_1^1, U_2^1, \dots, U_{n-1}^1$. Результирующие матрицы отсчетов яркости спектрозональных изображений формируют в соответствии с выражениями:

$$U_{\text{вых1}} = [U_1^1 \times (U_{\max} / U_{1 \max}^1)], U_{\text{вых2}} = [U_2^1 \times (U_{\max} / U_{2 \max}^1)], \dots, U_{\text{вых } n-1} = [U_{n-1}^1 \times (U_{\max} / U_{n-1 \max}^1)].$$

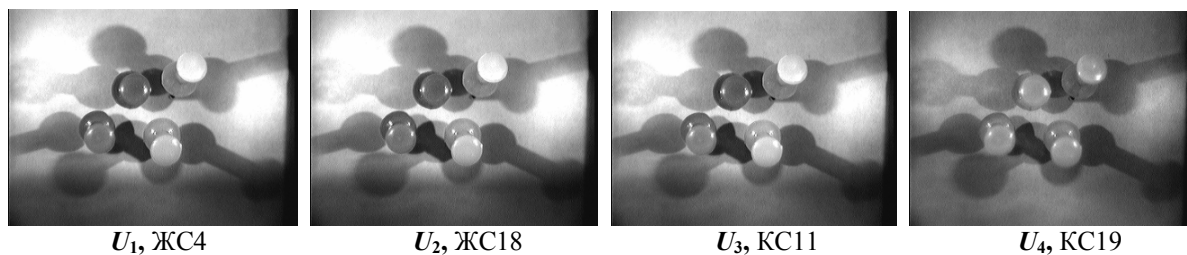
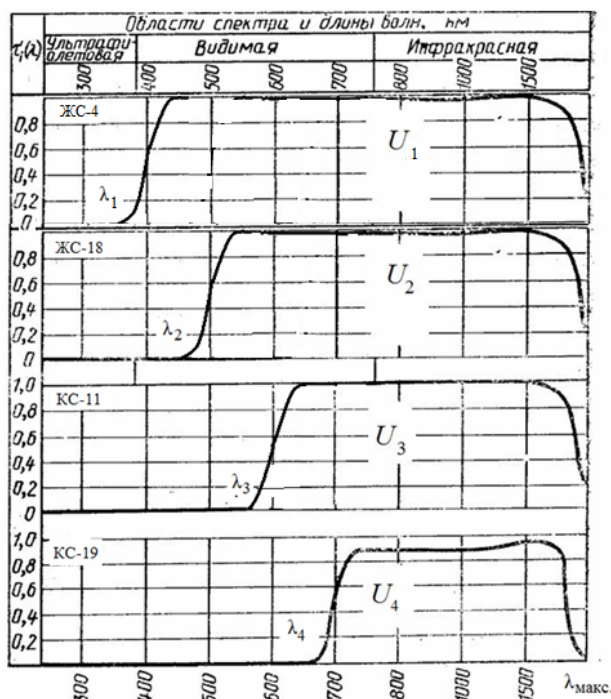
Рис.1. Спектрозональные изображения U_1 , U_2 , U_3 , U_4 , полученные при помощи стандартных светофильтров ЖС4, ЖС18, КС11, КС19

Рис.2. Спектральные характеристики стандартных светофильтров ЖС4, ЖС18, КС11, КС19

При компьютерном моделировании метода мультипликативной спектрозональной визуализации использовались матрицы цифровых отчетов спектрозональных изображений U_1 , U_2 , U_3 , U_4 , показанных на рис.1. Данные изображения получены с использованием стандартных светофильтров ЖС4, ЖС18, КС11 и КС19 для расширенных спектральных интервалов от $\lambda_1 = 400$ нм, $\lambda_2 = 500$ нм, $\lambda_3 = 600$ нм и $\lambda_4 = 700$ нм до $\lambda_{\max}$ соответственно. Спектральные характери-

ки стандартных светофильтров ЖС4, ЖС18, КС11 и КС19 для расширенных спектральных интервалов приведены на рис.2.

При компьютерном моделировании осуществлялись преобразования исходных матриц U_1 , U_2 , U_3 , U_4 в соответствии с описанными выше методами. Мультипликативный метод предусматривает инверсию одной из перемножаемых матриц. Приведенные в настоящей статье результаты получены при инверсии матрицы, соответствующей более широкому спектральному диапазону из двух сомножителей. Значение $U_{\max}$ при моделировании соответствовало максимуму динамического диапазона изменения сигнала и равнялось 255 при 8-разрядном кодировании.

Компьютерное моделирование проводилось в среде MATLAB. Полученные результирующие изображения по дифференциальному и мультипликативному методу визуально сравнивались между собой, а также производилось количественное сравнение соответствующих максимальных и минимальных значений цифровых отсчетов яркости.

На рис.3 показаны примеры результирующих изображений, получаемых дифференциальным методом (рис.3а) и мультипликативным методом (рис.3б) при соответствующей обработке пары исходных матриц U_2 и U_3 . Изображение, полученное дифференциальным методом (рис.3а), имеет низкую контрастность. Контрастность изображения, полученного мультипликативным методом (рис.3б), существенно выше.

Количественное сравнение разностей максимальных и минимальных значений цифровых кодов, полученных при обработке изображений дифференциальным и мультипликативным методами, показано

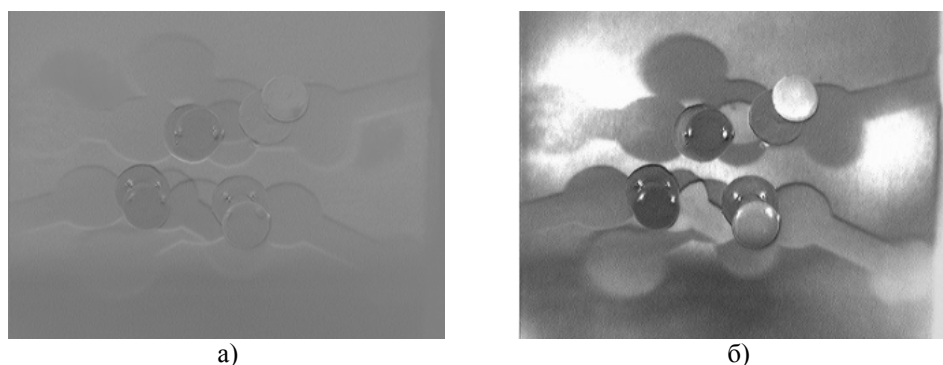


Рис.3. Спектрозональные изображения, получаемые дифференциальным (а) и мультипликативным (б) методами

на рис.4. Из приведенных на нем сравнительных диаграмм видно, что мультипликативный метод по отношению к дифференциальному обеспечивает повышение контрастности изображений не менее чем в 1,5 раза.

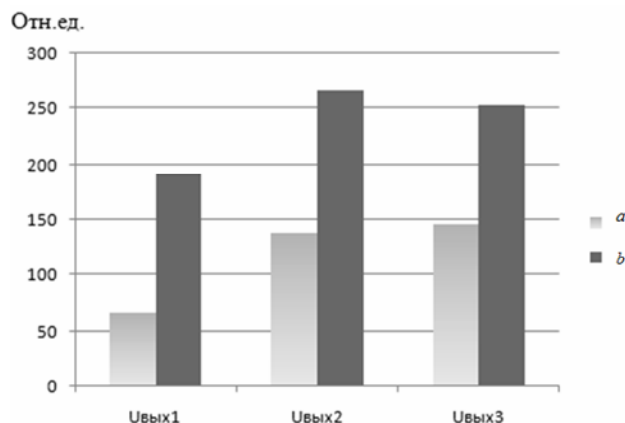


Рис.4. Количественное сравнение максимальных и минимальных значений отсчетов яркости в спектрозональных изображениях, получаемых дифференциальным (a) и мультипликативным (b) методами

Заключение

Цифровые методы формирования спектрозональных изображений позволяют минимизировать аппаратные затраты на построение оптико-электронных систем (ОЭС), расширить их функциональные возможности, что представляет большой практический интерес.

Компьютерное моделирование показывает преимущество мультипликативного метода цифровой спектрозональной визуализации по отношению к дифференциальному методу. Количественная оценка повышения контрастности изображения составляет не менее чем в 1,5 раза.

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. Сер.: Техника телевидения. 2011. Вып.2. С.20.

3. Сагдуллаев Ю. С. и Сагдуллаев Т. Ю. Основы построения информационно-измерительных систем спектрозонального телевидения // Вопросы радиоэлектроники сер. Техника телевидения. 2018. Вып.4. С. 59-67.
4. Корнышев Н.П., Калитов М.А., Сенин А.С. Исследование метода дифференциальной спектрозональной визуализации // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2018. №1(107). С.62-69.
5. Патент RU 2679921 C1. Способ формирования цифровых спектрозональных телевизионных сигналов / М.А.Калитов, Н.П.Корнышев. Заявл. 28.04.2018. Опубл. 14.02.2019.
6. Калитов М. А., Корнышев Н. П. Повышение точности метода дифференциальной спектрозональной визуализации // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2019. №2(114). С.31-34.
7. Kalitov M.A. and Kornyshev N.P. Computer simulation of digital spectral imaging processes // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V.1352. P.012028. doi:10.1088/1742-6596/1352/1/012025.

References

1. Zubarev Ju.B., Sagdullaev Ju.S., Sagdullaev T.Ju. Spektrozonal'nye metody i sistemy v kosmicheskom televidenii [Spectrasonic methods and systems in space television]. Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tehnika televidenija, 2009, iss.1, pp.47-64.
2. Sagdullaev Ju.S., Sagdullaev T.Ju. K voprosu vybora zon registracii v spektrozonal'nom televidenii [Choice of the registration zones in the spectrozonal television]. Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tehnika televidenija, 2011, iss.2, p.20.
3. Sagdullaev Ju. S. i Sagdullaev T. Ju. Osnovy postroenija informacionno-izmeritel'nyh sistem spektrozonal'nogo televidenija [Basics of building information-measuring systems for multispectral television]. Voprosy radioelektroniki ser. Tehnika televidenija, 2018, iss.4, pp. 59-67.
4. Kornyshev N.P., Kalitov M.A., Senin A.S. Issledovanie metoda differentsial'noi spektrozonal'noi vizualizatsii [Study of the method of differential spectral visualization]. Vestnik NovGU. Ser.: Tekhnicheskie nauki. 2018, no. 1(107), pp.62-69.
5. Kalitov M.A., Kornyshev N.P. Sposob formirovaniia tsifrovyykh spektrozonal'nykh televizionnykh signalov [A method of forming a multispectral digital television signals]. Patent RF no. 2679921 RU, MPK H04N 7/18, 2019.
6. Kalitov M.A., Kornyshev N.P. Povyshenie tochnosti metoda differentsial'noi spektrozonal'noi vizualizatsii [Accuracy increase of the differential multispectral imaging method]. Vestnik NovGU. Ser.: Tekhnicheskie nauki. 2019, no. 2(114), pp.31-34.
7. Kalitov M.A. and Kornyshev N.P. Computer simulation of digital spectral imaging processes. Journal of Physics: Conference Series. 2019, vol.1352, pp.012028. doi:10.1088/1742-6596/1352/1/012025.