

УДК 621.397.13

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СПЕКТРОЗОНАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

М.А.Калитов, Н.П.Корнышев

### ACCURACY INCREASE OF THE DIFFERENTIAL MULTISPECTRAL IMAGING METHOD

M.A.Kalitov, N.P.Kornyshev

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

Обсуждаются вопросы улучшения дифференциального метода спектрозональной визуализации. Рассматривается структурная схема спектрозональной телевизионной системы и пример набора стандартных светофильтров, имеющих спектральные характеристики в широких зонах регистрации светового потока. Приводятся примеры изображений тестовых и реальных объектов, полученных дифференциальным методом из исходных спектрозональных изображений. Предлагается способ повышения точности за счет сохранения формы выходного сигнала и его полярности в случае отрицательной разности между сравниваемыми цифровыми кодами. Обсуждаются результаты компьютерного моделирования с целью сравнительной оценки получаемых изображений.

**Ключевые слова:** спектрозональная визуализация, обработка спектрозональных изображений

The questions of improving the differential multispectral imaging method are discussed. A block scheme of a spectral television system and an example of a set of standard light filters with spectral characteristics for wide areas of light flux registration are considered. Examples of images of test and real objects obtained by the differential method from the original spectral images are given. A method of accuracy increase by preserving the shape of the output signal and its polarity in the case of a negative difference between the compared digital codes is suggested. The results of computer simulation for the purpose of comparative evaluation of the obtained images are discussed.

**Keywords:** multispectral imaging, multispectral 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. Для получения спектрозональных изображений используют как оптическое разделение лучистых потоков, так и цифровую обработку получаемых при этом видеосигналов [1].

Метод дифференциальной спектрозональной визуализации [2], заключающийся в дополнительной цифровой обработке исходных широкодиапазонных изображений путем формирования разностных изображений, соответствующих узким участкам спектрального диапазона, представляет особый интерес, поскольку позволяет получить дополнительную видеоинформацию без увеличения аппаратных затрат. Это обстоятельство является немаловажным при оптимизации ОЭС.

Данный метод позволяет использовать недорогие стандартные цветные оптические светофильтры, имеющие расширенные зоны регистрации при спектральных характеристиках, достаточно близких к прямоугольным. К таким стандартным оптическим светофильтрам относятся, например, цветные стекла

типа ЖС, ОС, КС, ИКС, имеющие крутой перепад спектральной характеристики в желтой, оранжевой, красной и ближней инфракрасной областях спектра соответственно. При этом обеспечивается приближенное соответствие видеоинформации разностного спектрозонального сигнала и видеоинформации спектрозонального сигнала, получаемого оптическим путем [3].

Формирование спектрозональных телевизионных сигналов по методу дифференциальной спектрозональной визуализации сводится к следующему. Из светового потока в общем спектральном интервале  $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс}}$  оптическим путем выделяют  $n$  спектрозональных световых потоков в интервалах длин волн  $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс}}$ ,  $\lambda_2 \div \lambda_{\text{макс}}$ , ...,  $\lambda_n \div \lambda_{\text{макс}}$ , где  $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n < \lambda_{\text{макс}}$ , 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  $U_{\text{вых } 1} = U_1 - U_2$ ,  $U_{\text{вых } 2} = U_2 - U_3, \dots, U_{\text{вых } n} = U_{n-1} - U_n$ , соответствующие узким зонам регистрации  $\lambda_1 \div \lambda_2, \lambda_2 \div \lambda_3, \dots, \lambda_{n-1} \div \lambda_n$  [2].

Однако нетрудно заметить, что при взаимном вычитании цифровых кодов форма выходного сигнала может искажаться. Действительно, в случае, если вычитаемое больше уменьшаемого, то получаемая

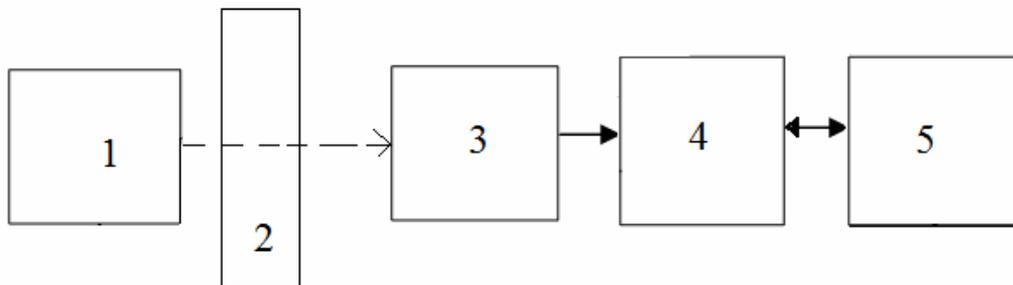


Рис.1. Структурная схема спектрозональной телевизионной системы: 1 — объектив, 2 — линейка светофильтров, 3 — телевизионная камера, 4 — устройство видеозаписи, 5 — компьютер

отрицательная разность для отсчета яркости не имеет физического смысла. В этом случае в качестве результата берется либо модуль яркости, либо результирующему (выходному) отсчету яркости присваивается нулевое значение.

Целью данной статьи является ознакомление с вариантом улучшения метода дифференциальной спектрозональной визуализации за счет повышения точности формирования цифровых спектрозональных телевизионных сигналов, а именно за счет сохранения формы выходного сигнала и его полярности в случае отрицательной разности между сравниваемыми цифровыми кодами.

Сущность улучшения метода дифференциальной спектрозональной визуализации заключается в том, что выходные коды цифровых спектрозональных телевизионных сигналов, соответствующие узким зонам регистрации  $\lambda_1 \div \lambda_2, \lambda_2 \div \lambda_3, \dots, \lambda_{n-1} \div \lambda_n$ , формируются в соответствии с выражениями  $U_{\text{вых } 1}^* = (U_{\text{вых } 1} + U_{\text{макс.}}) / 2, U_{\text{вых } 2}^* = (U_{\text{вых } 2} + U_{\text{макс.}}) / 2, \dots, U_{\text{вых } n}^* = (U_{\text{вых } n} + U_{\text{макс.}}) / 2$ , где  $U_{\text{макс.}}$  — максимально возможное значение цифрового кода [4].

В качестве примера на рис.1 показана спектрозональная телевизионная система, реализующая рассматриваемый способ улучшения дифференциального метода визуализации и содержащая объектив 1, линейку 2 светофильтров, оптически связанных с телевизионной камерой 3, последовательно подключенной к устройству видеозаписи 4 и компьютеру 5.

Способ осуществляется следующим образом. Световой поток в общем спектральном интервале  $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс.}}$  проходит через объектив 1, в заднем рабочем отрезке которого размещается линейка 2 стандартных светофильтров. В простейшем случае линейку светофильтров 2 в заднем рабочем отрезке объектива перемещают вручную, последовательно устанавливая перед фотоприемником телевизионной камеры 3 светофильтры, выделяющие спектрозональные световые потоки в интервалах длин волн  $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс.}}, \lambda_2 \div \lambda_{\text{макс.}}, \dots, \lambda_n \div \lambda_{\text{макс.}}$ , где  $\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_n < \lambda_{\text{макс.}}$ . Каждое получаемое спектрозональное оптическое изображение последовательно преобразуется телевизионной камерой 3 в электрический сигнал, который в свою очередь преобразуется в цифровую форму стандартным устройством видеозаписи 4 и последовательно вводится в компьютер 5.

Введенные в компьютер исходные цифровые коды элементов спектрозональных изображений цифро-

вые коды  $U_1, U_2 \dots U_n$  обрабатываются программным путем с целью получения разности цифровых кодов  $U_{\text{вых } 1} = U_1 - U_2, U_{\text{вых } 2} = U_2 - U_3, \dots, U_{\text{вых } n} = U_{n-1} - U_n$ , а затем выходных кодов цифровых спектрозональных телевизионных сигналов  $U_{\text{вых } 1}^*, U_{\text{вых } 2}^*, \dots, U_{\text{вых } n}^*$ , соответствующих узким зонам регистрации  $\lambda_1 \div \lambda_2, \lambda_2 \div \lambda_3, \dots, \lambda_{n-1} \div \lambda_n$ , по формулам  $U_{\text{вых } 1}^* = (U_{\text{вых } 1} + U_{\text{макс.}}) / 2, U_{\text{вых } 2}^* = (U_{\text{вых } 2} + U_{\text{макс.}}) / 2, \dots, U_{\text{вых } n}^* = (U_{\text{вых } n} + U_{\text{макс.}}) / 2$ , где  $U_{\text{макс.}}$  — максимально возможное значение цифрового кода. Выходные коды цифровых спектрозональных телевизионных сигналов используют для их отображения на экране дисплея компьютера.

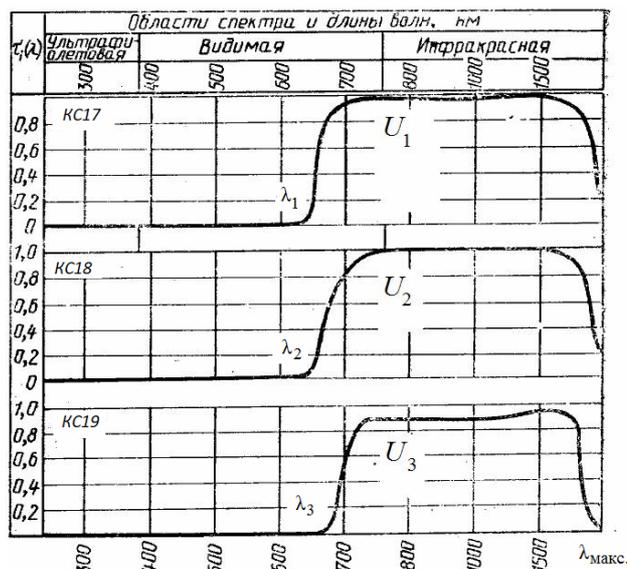


Рис.2. Пример спектральных характеристик стандартных светофильтров типа КС по ГОСТ 9411-91 для расширенных спектральных интервалов  $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс.}}, \lambda_2 \div \lambda_{\text{макс.}}, \dots, \lambda_n \div \lambda_{\text{макс.}}$ . В общем диапазоне длин волн  $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс.}}$

В качестве примера на рис.2 показаны три спектральных характеристики стандартных светофильтров типа КС по ГОСТ 9411-91 для расширенных спектральных интервалов  $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс.}}, \lambda_2 \div \lambda_{\text{макс.}}, \dots, \lambda_n \div \lambda_{\text{макс.}}$  в общем диапазоне длин волн  $\lambda_1 \div \lambda_{\text{макс.}}$ , при помощи которых формируются исходные световые потоки, преобразуемые цифровые коды  $U_1, U_2, U_3$ , пропорциональные яркости для соответствующих элементов трех исходных спектрозональных телевизионных изображений, представленных на рис.3а, 3б и 3в.

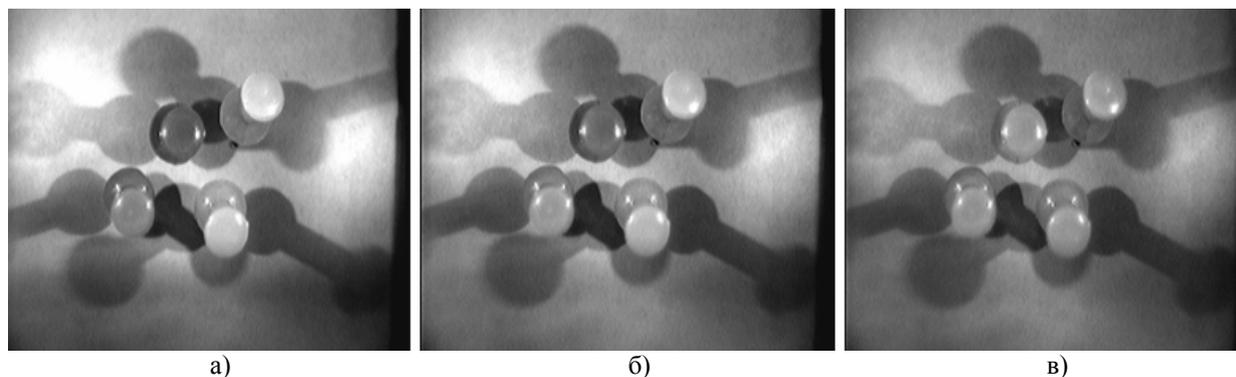


Рис.3. Спектрональные телевизионные изображения, соответствующие приведенным на рис.2 спектральным характеристикам

На рис.4 показаны результирующие изображения, получаемые методом дифференциальной спектрональной визуализации [2] (рис.4а) и после его улучшения (рис.4б). В изображении (рис.4а) форма результирующего сигнала искажена, поскольку результирующие отрицательные отсчеты яркости преобразованы в модуль яркости. В изображении (рис.4б) результирующие отрицательные отсчеты яркости отображаются с соответствующей полярностью выходного сигнала относительно уровня  $U_{\text{макс.}}/2$ , тем самым обеспечивается сохранение его формы и повышается точность формирования спектронального телевизионного сигнала в узкой зоне регистрации.

Рассмотрим пример, в котором величина яркости в соответствующих элементах двух исходных спектрональных изображений будет равна в первом случае  $U_1 = 10$ ,  $U_2 = 5$ , а во втором случае (например, в соседнем элементе)  $U_1 = 5$ ,  $U_2 = 10$  при  $U_{\text{макс.}} = 255$ . Во втором случае разность цифровых кодов оказывается отрицательным числом, что для яркости изображения лишено физического смысла. По способу аналогу выходное значение яркости при взятии модуля разности  $U_{\text{вых1}} = U_1 - U_2$  в обоих случаях окажется

равным  $U_{\text{вых1}} = 5$ , что приводит к искажению формы выходного сигнала.

Аналогичная ситуация складывается, если отрицательные значения яркости отбрасывать и принимать в качестве выходного нулевое значение. При вычислении выходных значений по заявляемому техническому решению на основании формулы  $U_{\text{вых1}}^* = (U_{\text{вых1}} + U_{\text{макс.}})/2$  получим для первого случая  $U_{\text{вых1}}^* = 130$ , а для второго случая  $U_{\text{вых1}}^* = 125$ , что обеспечивает сохранение формы выходного сигнала относительно уровня  $U_{\text{макс.}}/2 = 127,5$  и, следовательно, повышает точность формирования спектронального телевизионного сигнала в узкой зоне регистрации.

Спектрональные изображения для исследуемого объекта могут быть получены путем последовательной съемки стандартной телевизионной камерой через стандартные светофильтры типа ЖС, ОС или КС с фиксацией в компьютере через стандартное устройство видеозаписи типа AverEZCapture фирмы AverMedia, подключаемое PCI- шине компьютера. Результирующее изображение может быть получено путем программирования в среде стандартного пакета MATLAB или путем создания специализированной программы в среде C++.

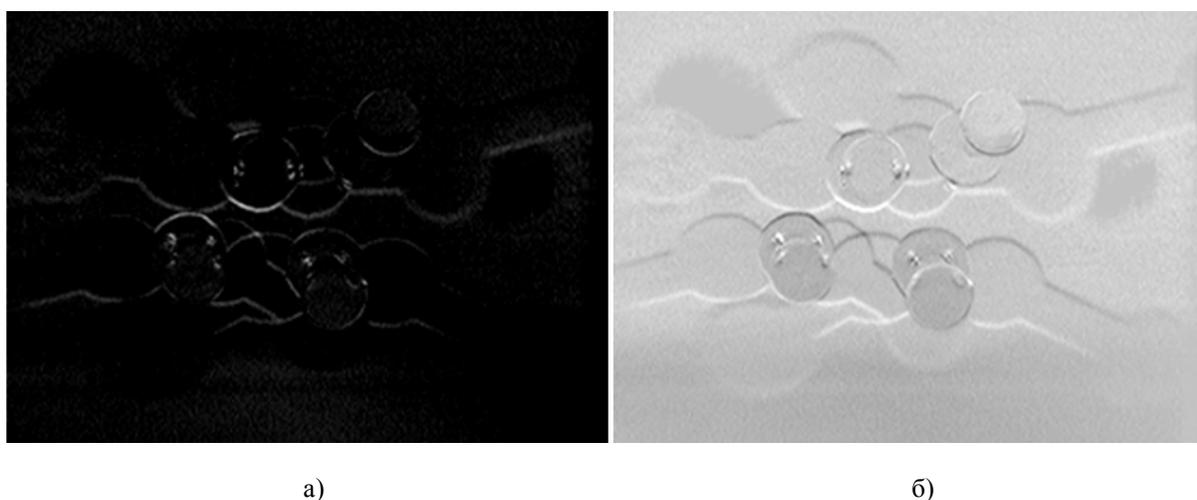


Рис.4. Результирующие изображения, получаемые методом дифференциальной спектрональной визуализации до (а) и после его улучшения (б)

### Выводы

1. Применение дифференциального метода спектрональной визуализации для обработки изображений на смежных участках видимого и инфракрасного диапазона спектра обеспечивает возможность получения дополнительной визуальной информации об исследуемых объектах.

2. Сохранение формы выходного сигнала и его полярности в случае отрицательной разности между сравниваемыми цифровыми кодами обеспечивает повышение точности метода дифференциальной спектрональной визуализации

1. Зубарев Ю.Б., Сагдуллаев Ю.С., Сагдуллаев Т.Ю. Спектрональные 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 спектрональном телевидении // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2011. Вып.2. С.20.
3. Корнышев Н.П., Калитов М.А., Сенин А.С. Исследование метода дифференциальной спектрональной визуализации // Вестн. НовГУ. Сер.: Технические науки. 2018. №1(107). С.62-69.

4. Патент № 2679921 RU, МПК H04N 7/18. Способ формирования цифровых спектрональных телевизионных сигналов / М.А.Калитов, Н.П.Корнышев. Заявл. 28.04.2018. Опубл. 14.02.2019. Бюл.5.

### References

1. Zubarev Yu.B., Sagdullaev Yu.S., Sagdullaev T.Yu. Spektrozonal'nye metody i sistemy v kosmicheskom televidenii [Multispectral methods and systems in space TV]. Issues of Radio Electronics. Ser.: The Technique of Television, 2009, iss.1, pp. 47-64.
2. Sagdullaev Yu.S., Sagdullaev T.Yu. K voprosu vybora zon registratsii v spektrozonal'nom televidenii [On the question of choice of reception areas in a multispectral television]. Issues of Radio Electronics. Ser.: The Technique of Television, 2011, iss. 2. P.20.
3. Kornyshev N.P., Kalitov M.A., Senin A.S. Issledovanie metoda differentsial'noi spektrozonal'noi vizualizatsii [A study of the differential multispectral imaging method]. Vestnik of NovSU. Ser.: Technical Science, 2018, no. 1 (107), pp.62-69.
4. Patent no. 2679921 RU, MPK H04N 7/18. Sposob formirovaniia tsifrovyykh spektrozonal'nykh televizionnykh signalov [A method of forming a multispectral digital television signals]. M.A. Kalitov, N.P. Kornyshev. Applied: 28.04.2018. Published: 14.02.2019. Bul. no. 5.