

РАДИОФИЗИКА

УДК 621.397.6:004.932.4

DOI: 10.34680/2076-8052.2023.1(130).169-177

ГРНТИ 28.17.33+60.33.09

Специальность ВАК 1.3.4; 2.2.15

Научная статья

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПСЕВДОГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЗ RGB КОМПОНЕНТ

Корнышев Н. П., Гареев В. М., Гареев М. В., Серебряков Д. А.

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

Аннотация В статье обсуждаются вопросы формирования спектральных изображений в телевизионных мультиспектральных и гиперспектральных системах. Гиперспектральный куб данных содержит больше информации, чем куб мультиспектральной системы, однако, гиперспектральные системы имеют ограничения в пространственной и временной области. Существующая корреляция между гиперспектральной и мультиспектральной информацией и наличие данных об отражательной способности исследуемой сцены, позволяют построить псевдогиперспектральную систему на основе мультиспектральной, имеющей ограниченное число визуализируемых спектральных каналов. При этом в результате послесенансной обработки ограниченное количество мультиспектральных изображений преобразуется в псевдогиперспектральные изображения, соответствующие нескольким сотням спектральных каналов. Минимальной мультиспектральной системой может считаться телевизионная система, состоящая из трех каналов R, G и B. Для реализации процедуры получения псевдогиперспектральных изображений на первом этапе обработки R, G, B компонент необходимо реализовать методы улучшения их цветового разрешения и обеспечения баланса белого. В статье рассмотрена возможность применения для вышеуказанной задачи метода обработки видеoinформации, основанного на теории нелинейного двухкомпонентного зрения советского инженера С. Д. Ременко.

Ключевые слова: гиперспектральные системы, псевдогиперспектральные системы, теория нелинейного зрения

Для цитирования: 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

Research Article

FEATURES OF THE FORMATION OF PSEUDO-HYPERSPECTRAL IMAGES FROM RGB COMPONENTS

Kornyshev N. P., Gareev V. M., Gareev M. V., Serebryakov D. A.

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

Abstract The article discusses the formation of spectral images in television multispectral and hyperspectral systems. A hyperspectral data cube contains more information than a multispectral system cube, however, hyperspectral systems have limitations in the spatial and temporal domain. The existing correlation between hyperspectral and multispectral information and the availability of data on the reflectivity of the studied scene make it possible to build a pseudo-hyperspectral system based on a multispectral one with a limited number of visualized spectral channels. At the same time, as a result of post-session processing, a limited number of multispectral images are converted into pseudo-hyperspectral images corresponding to several hundred spectral channels. The minimum multispectral system can be considered a television system consisting of three channels R, G and B. To implement the procedure for obtaining pseudo-hyperspectral images at the first stage of processing R, G, B components, it is necessary to implement methods to improve their color resolution and ensure white balance. The article considers the possibility of using the video information processing

method based on the theory of nonlinear two-component vision of the Soviet engineer S. D. Remenko for the above problem.

Keywords: hyperspectral systems, pseudo-hyperspectral systems, nonlinear vision theory

For citation: Kornyshev N. P., Gareev V. M., Gareev M. V., Serebryakov D. A. 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

Введение

Гиперспектральные системы (ГС) дистанционного зондирования получают широкополосную и точную спектральную информацию о наблюдаемой сцене. Зона охвата, время наблюдения и особенно цена ограничивают применение ГС. Мультиспектральные системы в этом отношении являются менее критичными [1]. Псевдогиперспектральные системы синтезируют из мультиспектральных изображений псевдогиперспектральные изображения, которые используются для картографирования земного покрова [2], мониторинга почвы [3], управления сельским хозяйством [4].

Псевдогиперспектральные изображения, синтезированные из мультиспектральных изображений с глобальным охватом, непрерывным сбором данных и небольшим количеством каналов применяются, например, при обработке изображений спутников Hyperion и Landsat 7 ETM+[5]. Минимальное количество спектральных каналов обеспечивает телевизионная мультиспектральная система, формирующая сигналы R, G, B компонент. В этом минимальном случае алгоритм формирования псевдогиперспектральных изображений должен базироваться на двух основных требованиях:

1) R, G, B изображения не должны иметь спектральных искажений и должен соблюдаться баланс белого,

2) должна выполняться корреляция между R, G, B компонентами и характеристиками отражательной способности объектов, визуализируемых в спектральных каналах ГС, что может быть получено в ходе экспериментальных испытаний.

В случае выполнения этих требований процедура формирования псевдогиперспектральных изображений сводится к преобразованию RGB-HSV и селекции по заданному цветовому тону (интервалу), которому ставится в соответствие длина волны (интервал длин волн) спектрального излучения.

Если источник света имеет низкую цветовую температуру, то визуализируемые белые объекты на изображении выглядят окрашенными в красные оттенки. И, наоборот, если источник света имеет высокую цветовую температуру, то визуализируемые белые объекты на изображении выглядят окрашенными в синие оттенки.

Цветовая температура при работе с естественным освещением соответствует следующим значениям:

- дневной свет, световая температура около 5200 K,
- тень, температура около 7000 K,
- облачная, пасмурная погода, температура около 6000 K.

Для компенсации цветовых различий, вызванных параметрами источников света, применяется процедура баланса белого. Существуют несколько методов баланса белого:

- метод серого мира (Gray World Method (GWM)),
- метод идеального отражателя (Perfect Reflector Method (PRM)),
- метод баланса белого Chiou (Chiou's White Balance Method (CWBM)),
- метод нечёткой логики (Fuzzy Rules Method (FRM)).

Последний представляет наибольший интерес для применения в псевдогиперспектральных системах, работающих с RGB сигналами, поскольку наиболее полно моделирует процессы цветовосприятия человеческого зрения.

Так, в частности, советским инженером С. Д. Ременко в семидесятые годы XX века была предложена модель нелинейной двухкомпонентной теории зрения в живых системах [6, 7]. С точки зрения практического применения в псевдогиперспектральных системах данная теория имеет следующие достоинства:

- простота построения цветного изображения на основе обработки сигналов с детекторов отношения цветов;
- возможность реализации процедуры баланса белого.

Целью статьи является экспериментальная проверка эффективности подхода к построению псевдогиперспектральных систем, в основу которого поставлены нелинейные процедуры обработки цветных изображений в живых системах.

Методика и результаты эксперимента

В соответствии с теорией нелинейного зрения [6], приёмник светового сигнала располагается вдоль оптической оси, рисунок 1. Приёмник измеряет отношение спектральных сигналов, например $K_1 = R/G$, где R – амплитуда «красного» спектрального сигнала, а G амплитуда «зелёного» спектрального сигнала. В живых системах их создаёт «низкокачественная» линза с большой хроматической аберрацией, хрусталик.

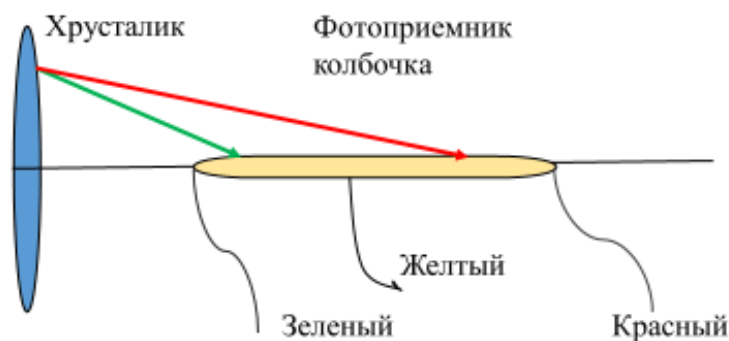


Рисунок 1. Формирование сигнала отношения R/G в живой системе

В телевизионных системах сигналы RGB получают с телевизионной камеры после дебайеризации, а затем находят их отношение. Первый детектор отношения

работает с сигналами RG, а второй детектор отношения работает с отношением сигналов «жёлтый» (Yellow) «синий» (Blue) $K2 = Ye/B$, рисунок 2. Как отмечается в теории нелинейного зрения, пропорциональное изменение яркости спектральных составляющих не влияют на коэффициент отношения. Таким образом, кроме простоты схемотехнической реализации детекторов отношений, данный метод обеспечивает возможность работы в большом динамическом диапазоне изменения сигнала.

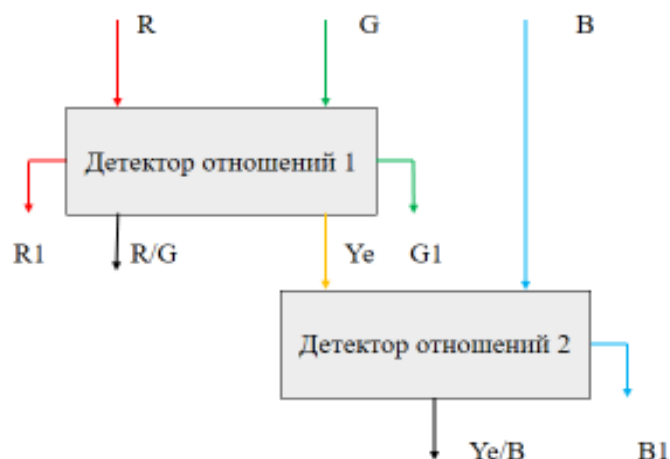


Рисунок 2. Формирование сигналов отношения в телевизионной системе

В детекторе отношений 1 формируется сигнал «жёлтый» $Ye = (R + G)/2$ для детектора отношений 2. Три сигнала с детекторов отношений R1, G1, B1 вписываются в цветовой круг для преобразования в систему HSV, рисунок 3.

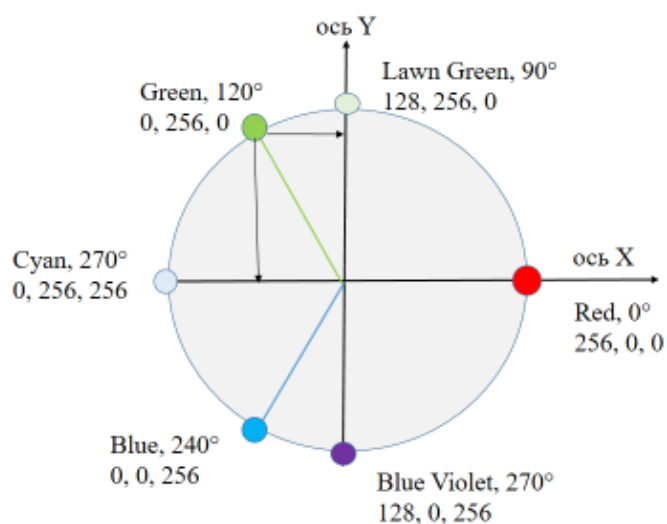


Рисунок 3. Цветовой круг

Яркость каждого пиксела RGB проецируется на оси X, Y. Для каждого пиксела (i,j) вычисляется угол ϕ системы HSV: $\phi_{i,j} = \text{atan}\left(\frac{Y_{i,j}}{X_{i,j}}\right)$.

На рисунке 4 показано преобразование контрольного изображения с пониженной яркостью в систему RGB в систему HSV с использованием предложенной методики. Если известны отношения $K1$ и $K2$, то они остаются неизменными при пропорциональном увеличении сигналов RGB, тогда, например, увеличивая $R1$ по отношению к R , можно найти: $G1 = R1/K1$ $B1 = Ye1/K2$ и вычислить новые значения HSV. Такое преобразование проводится путём итераций R до достижения насыщения одного из сигналов $R1$, $G1$, $B1$.

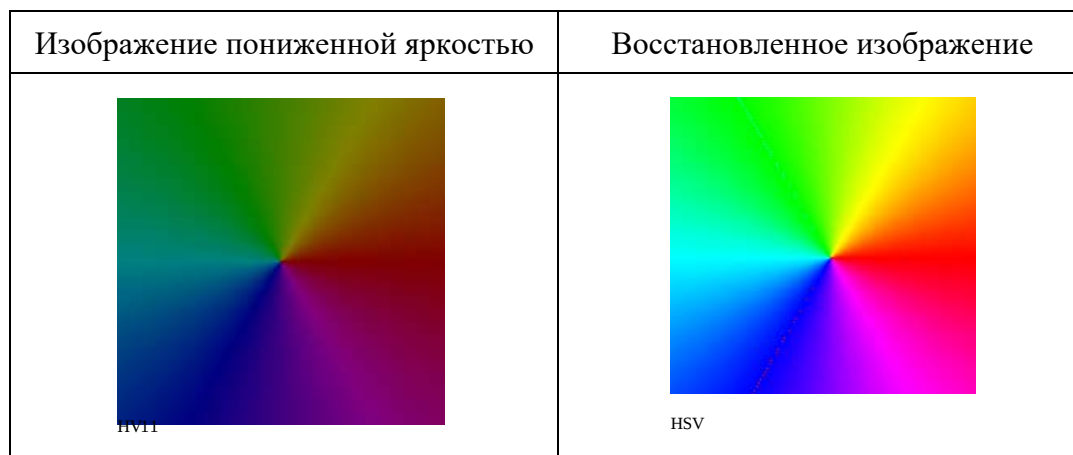


Рисунок 4. Преобразование изображения

Для формирования псевдогиперспектральных изображений из RGB компоненту необходимо обеспечить «идеальную» цветопередачу отображаемой сцены. Заводская настройка цветной телевизионной камеры обеспечивает:

- 1) правильную цветопередачу;
- 2) насыщенность цветов изображения;
- 3) контрастность;
- 4) баланс белого.

В цифровых цветных телевизионных камерах заводские настройки не изменяются во времени, а влияние температуры компенсируется системой автоматики. Однако, при формировании псевдогиперспектральных изображений необходимо учитывать, согласно [8, 9, 10], влияние фоновой засветки, искажающей передачу белого цвета.

Алгоритм обработки цветного изображения, подготавливаемого для последующего формирования псевдогиперспектрального изображения, заключается в следующем. Каждая матрица R , G , B до обработки детектором отношений обрабатывается при помощи процедуры выделения фона, который, как отмечалось выше, может иметь высокую или низкую цветовую температуру. В матрицах R , G , B обозначаются позиции, на которых элементы матрицы равны нулю. Для оставшихся элементов матрицы производится поиск минимального значения яркости пиксела, который попадает под определение фон. Для поиска минимального значения яркости пиксела фона применяется аппарат нечётной логики.

На рисунке 5 показана последовательность операций для процедуры подавления фона, включающая нахождение матрицы чёрных пикселей, нахождение матрицы с пороговым уровнем фона и вычитание фона.

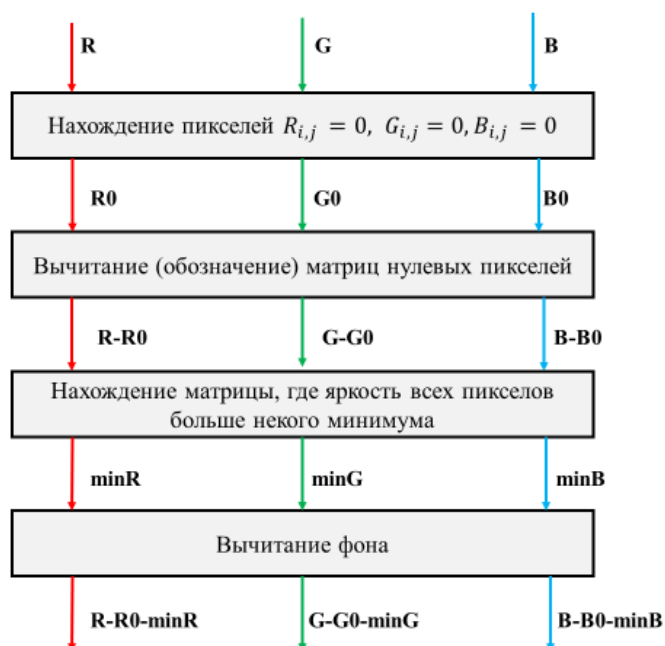


Рисунок 5. Процедура подавления фона

На рисунке 6 показаны результаты обработки изображений с использованием детекторов отношений по теории нелинейного зрения и процедуры подавления фона.

Исходное изображение, искажение цветопередачи из-за экспозиции	Результат обработки
Исходное изображение, искажение цветопередачи из-за экспозиции, фон от заходящего Солнца	Результат обработки

Рисунок 6. Обработка цветных изображений для последующего формирования псевдогиперспектральных изображений

Первое изображение получено при пониженной яркости, что является следствием неправильного выбора экспозиции. При моделировании, для наглядности, ситуация утрирована и добавлен синеватый тон от источника с высокой цветовой температурой. На втором снимке при неправильном выборе экспозиции, добавлен красноватый фон от источника с низкой цветовой температурой. Для проверки выполнения баланса белого необходимо выбрать белую точку на изображении и проверить соотношение сигналов RGB, которое должно быть равно 1. Как показывают измерения, для каждого полученного в результате эксперимента результата обработки равенство $R = G = B$ выполняется.

Выводы

1. Применение простого алгоритма на основе детекторов отношений обеспечивает эффективное восстановление качества цветопередачи.
2. Применение детекторов отношений обеспечивает восстановление качества цветопередачи в широком динамическом диапазоне изменения сигнала, в том числе, при «перегрузке».
3. Алгоритм обеспечивает эффективную балансировку белого в изображениях, полученных при изменениях фоновой засветки и времени экспозиции и, тем самым, обеспечивает повышение качества формирования псевдогиперспектральных изображений из RGB компонент.

Список литературы

1. Sun X., Zhang L., Yang H., Wu T., Cen Y., Guo Y. Enhancement of Spectral Resolution for Remotely Sensed Multispectral Image // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2015. 8. 2198-2211.
2. Huo H., Guo J., Li Z. Hyperspectral Image Classification for Land Cover Based on an Improved Interval Type-II Fuzzy C-Means Approach // Sensors (Basel). 2018. 18. 363. DOI: 10.3390/s18020363
3. Song Y.-Q., Zhao X., Su H.-Y., Li B., Hu Y.-M., Cu X.-S. Predicting Spatial Variations in Soil Nutrients with Hyperspectral Remote Sensing at Regional Scale // Sensors. 2018. 18(9). 3086. DOI: 10.3390/s18093086
4. Fan L., Zhao J., Xu X., Liang D., Yang G., Feng H., Yang H., Wang Y., Chen G., Wei P. Hyperspectral-based Estimation of Leaf Nitrogen Content in Corn Using Optimal Selection of Multiple Spectral Variables // Sensors 2019. 19(3). 2898. DOI: 10.3390/s19132898
5. Jarek P., Barry P., Perlman J., Markham B. Aggregation of hyperspectral Hyperion spectral bands into Landsat-7 ETM+ spectral bands // GARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2001 IEEE International Symposium on Geosciences and Remote Sensing, Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2001. P. 2822-2824
6. Ременко С. Д. Определение основных понятий в области колориметрии и измерения цветовых параметров излучения // V Всеакадемический семинар по проблемам стандартизации и метрологии. Ереван, 16-20 ноября 1987. Ереван. 1987. С. 58-59.
7. Чупров А. Д., Синькова В. И., Кузнецов И. В. Теории цветовосприятия. Фоторецепторный аппарат сетчатки глаза // Современные проблемы науки и образования. 2021. 6. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=31287> (Дата обращения: 16.01.2023).

8. Land E., McCann J. Lightness and retinex theory Text: electronic // Journal of the Optical Society of America. 1971. 61(1). 1-11. DOI: 10.1364/JOSA.61.000001
9. Bertalmío M., Caselles V., Provenzi E. Issues about Retinex theory and contrast enhancement // International Journal of Computer Vision. 2009. Jun. 83(1). 101-119. DOI: 10.1007/s11263-009-0221-5
10. Roszczyk R., Krupa A., Antoniuk I. Normal Patch Retinex Robust Alghoritm for White Balancing in Digital Microscopy, In the case of microscopic medical images // Machine GRAPHICS & VISION. 2020. 29(1/4). 79-95. DOI: 10.22630/MGV.2020.29.1.5

References

1. Sun X., Zhang L., Yang H., Wu T., Cen Y., Guo Y. Enhancement of Spectral Resolution for Remotely Sensed Multispectral Image // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2015. 8. 2198-2211.
2. Huo H., Guo J., Li Z. Hyperspectral Image Classification for Land Cover Based on an Improved Interval Type-II Fuzzy C-Means Approach // Sensors (Basel). 2018. 18. 363. DOI: 10.3390/s18020363
3. Song Y.-Q., Zhao X., Su H.-Y., Li B., Hu Y.-M., Cu. X.-S. Predicting Spatial Variations in Soil Nutrients with Hyperspectral Remote Sensing at Regional Scale // Sensors. 2018. 18(9). 3086. DOI: 10.3390/s18093086
4. Fan L., Zhao J., Xu X., Liang D., Yang G., Feng H., Yang H., Wang Y., Chen G., Wei P. Hyperspectral-based Estimation of Leaf Nitrogen Content in Corn Using Optimal Selection of Multiple Spectral Variables // Sensors. 2019. 19(3). 2898. DOI: 10.3390/s19132898
5. Jarek P., Barry P., Perlman J., Markham B. Aggregation of hyperspectral Hyperion spectral bands into Landsat-7 ETM+ spectral bands // GARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2001 IEEE International Symposium on Geosciences and Remote Sensing, Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2001. P. 2822-2824.
6. Remenko S. D. Opredeleniye osnovnykh ponyatiy v oblasti kolorimetrii i izmereniya tsvetovykh parametrov izlucheniya [Definition of basic concepts in the field of colorimetry and measurement of color parameters of radiation] // V All-Academic Seminar on Problems of Standardization and Metrology, Yerevan, November 16-20, 1987. Yerevan. 1987. P. 58–59.
7. Chuprov A. D., Sinkova V. I., Kuznetsov I. V. Teorii tsvetovospriyatiya. Fotoretseptornyy apparat setchatki glaza [Theories of color perception. Photoreceptor apparatus of the retina] // Modern problems of science and education. 2021. 6. Available at: <https://science-education.ru/article/view?id=31287> (Accessed: 16.01.2023).
8. Land E., McCann J. Lightness and retinex theory // Journal of the Optical Society of America. 1971. 61(1). 1-11. DOI: 10.1364/JOSA.61.000001
9. Bertalmío M., Provenzi E. Issues about Retinex theory and contrast enhancement // International Journal of Computer Vision. 2009. 83(1). 101–119. DOI: 10.1007/s11263-009-0221-5
10. Roszczyk R., Krupa A., Antoniuk I. Normal Patch Retinex Robust Alghoritm for White Balancing in Digital Microscopy, In the case of microscopic medical images // Machine GRAPHICS & VISION. 2020. 29(1/4). 79-95. DOI: 10.22630/MGV.2020.29.1.5

Информация об авторах

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

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

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

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