

Автоматическое распознавание количества каналов в неидентифицированных мультиспектральных данных

Н.С. Виноградова¹, А.В. Сосновский¹, Н.Ю. Севастьянова¹

¹Уральский федеральный университет, Мира, 19, Екатеринбург, Россия, 620002

Аннотация. Настоящая работа посвящена разработке метода идентификации неизвестных параметров многозональных изображений систем дистанционного зондирования Земли. Метод позволяет в автоматическом режиме определять способ чередования спектральных каналов и производить подсчет их количества для изображений, хранящихся в файлах несжатых форматов. Приведено теоретическое обоснование, основывающееся на изменении формы Фурье-спектра при изменении способа чередования каналов в файле данных, выявлены особенности формы спектра, позволяющие надёжно идентифицировать требуемые характеристики. Приведены результаты применения алгоритма к реальным снимкам Земли из космоса, указаны его границы применимости и даны рекомендации по выбору конкретных параметров работы алгоритма.

1. Введение

В наше время без применения цифровых изображений не обходится ни одна современная дисциплинарная область, начиная от медицины и биологии и заканчивая снимками Земли из космоса. Отдельную категорию интереса представляют собой многозональные изображения [1], когда каждая зона многомерного изображения несет в себе определенный срез информации об объекте интереса. Особую популярность такие изображения приобрели в области дистанционного зондирования, поскольку использование сочетания различных зон позволяет получить широкий диапазон всевозможных производных характеристик [2].

Различают три основных способа хранения информации в несжатых многозональных изображениях: BSQ, BIL и BIP [3]. В BSQ-формате данные о зонах записываются в файл последовательно, при этом информация о каждой из зон представлена условно независимо относительно других. BIL-формат поддерживает построчную запись обо всех зонах, данные вносятся в файл последовательно строка за строкой. В BIP-формате вся информация заносится в итоговый файл попиксельно, т.е. сначала идет запись информации, хранящейся в первой пикселе первой зоны изображения, затем первого пикселя второй зоны изображения и так далее. Правильный выбор формата представления многозональных данных является таким же залогом успешного открытия многозонального изображения, как и информация о его размерах (количество строк и столбцов файла).

К сожалению, в ряде случаев, например, при утере заголовочного файла ряда форматов, либо при повреждении хранилищ с изображениями, считывание изображения специализированными программными продуктами оказывается невозможным в виду утраты информации как о размерах изображения, так и о порядке хранения зон многомерного изображения [4]. Соответственно, возникает задача разработки методики автоматизированного определения обозначенных характеристик, позволивших бы произвести в последующем корректное считывание данных. В основе предлагаемой методики положен фурье-анализ [5] изображения, представленного в формате вектор-строки последовательности байтов исходного файла. Фурье-анализ позволяет выявить закономерности чередования содержимого изображения, представленного в одномерном дискретном виде, поскольку фурье-спектр имеет чувствительность к периодическим компонентам сигнала, выражающуюся в появлении пиковых значений амплитудной составляющей на частотах, соответствующих относительным частотам таких компонент. Анализ расположения пиков фурье-образа может позволить выявить наличие и параметры периодических компонент в вектор-строке идентифицируемого файла, и затем установить формат чередования многозональных данных и установить количество зон на изображении.

2. Теоретическое обоснование разрабатываемого метода

На первом шаге разработки алгоритма необходимо установить общие закономерности, возникающие при том или ином формате хранения данных. Для выявления этих закономерностей сгенерированы четырехзональные тестовые изображения размером 100×100 пикселей, где каждая из зон принимает неизменное значение яркости, представляющее собой случайное число в диапазоне от 0 до 255. Полученное изображение разложено в вектор-строку тремя разными способами, соответствующими трем разным форматам хранения многозональных данных: BSQ, VIL и VIP. Типичные профили яркостей полученных одномерных сигналов представлены на рисунках 1—3, а. На следующем этапе к каждому из сформированных одномерных дискретных сигналов применено фурье-преобразование. Результаты представлены на рисунках 1—3, б.

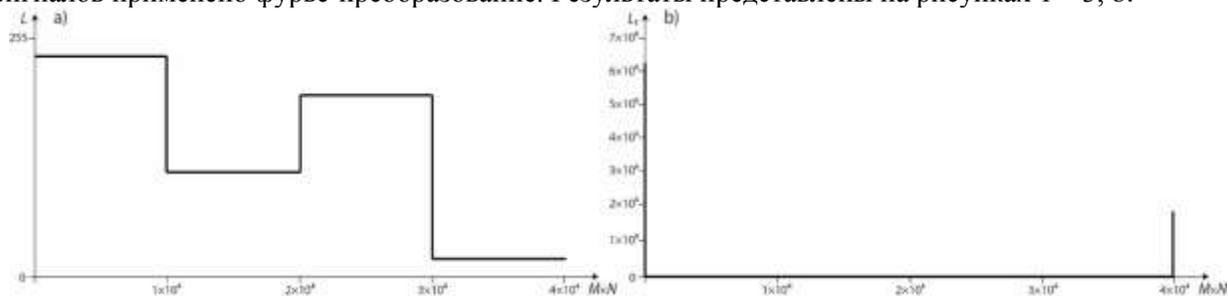


Рисунок 1. Одномерный дискретный сигнал изображения в формате BSQ: а) профиль яркости; б) Фурье-преобразование.

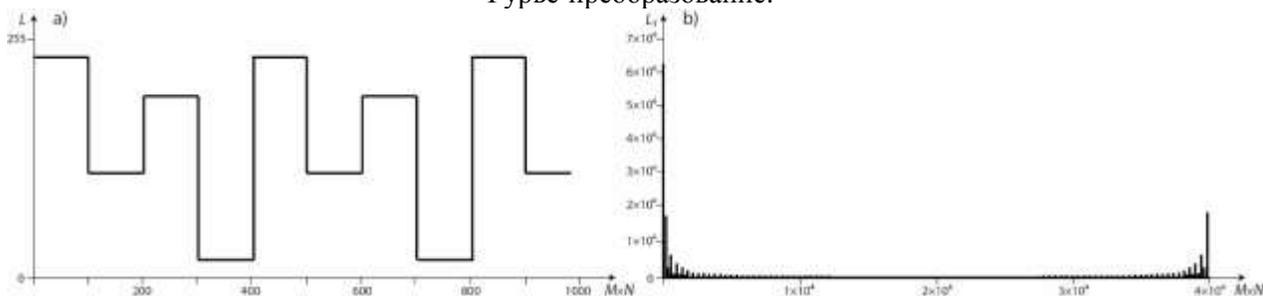


Рисунок 2. Одномерный дискретный сигнал изображения в формате VIL: а) профиль яркости (показаны первые 1000 отсчетов); б) Фурье-преобразование.

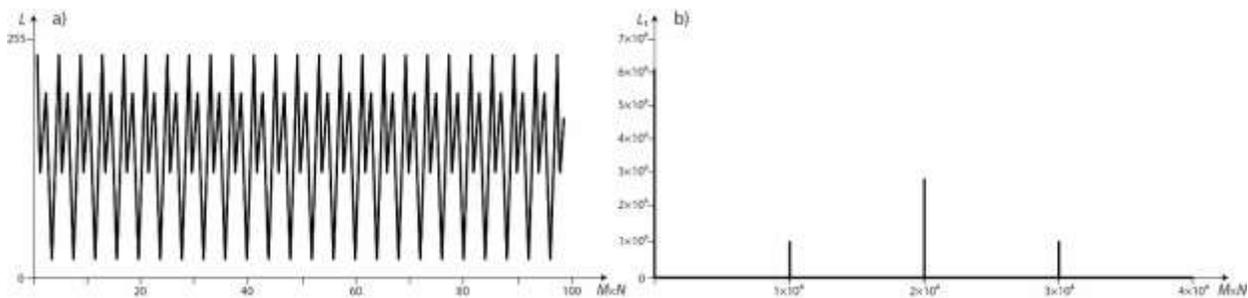


Рисунок 3. Одномерный дискретный сигнал изображения в формате ВР: а) профиль яркости (показаны первые 100 отсчетов); б) Фурье-преобразование.

Как видно из рисунка 1, на профиле яркости присутствует квазипериод, равный количеству пикселей в зоне изображения. Фурье-образ такого изображения состоит из двух наиболее выделяющихся пиков, первый из которых находится в начале координат, причем его величина равна суммарной яркости пикселей на изображении, второй пик находится в конце координат и его величина равна амплитуде первой гармоники. Величины остальных составляющих существенно ниже пиковых и группируются вокруг центрального. Из рисунка 2 следует, что вектор строка в формате ВР обладает периодичностью величиной, равной произведению количества строк на количество каналов, квазипериод будет равен ширине одной строки. Фурье-образ подобен первой ситуации, однако на нем появляются незначительные пики с интервалом, равным ширине строки изображения, при этом каждый k -ый пик вырождается в ноль, где k – количество каналов. Самый интересный случай представлен на рисунке 3. Помимо первого пика с высотой, равной суммарной яркости элементов изображения, присутствуют $(k-1)$ пиков, расположенных на частотах, величины которых равны $P = iMN, i = \overline{1, k}$. Следовательно, если формат хранения многозональных данных соответствует ВР, то анализируя фурье-образ, можно найти количество каналов многомерного изображения. Таким образом, необходимо разработать алгоритм, который позволял бы обнаруживать пики фурье-образа на фоне других составляющих малой амплитуды.

3. Алгоритм распознавания и его анализ

На первом этапе необходимо подчеркнуть имеющиеся на спектре пики. В предложенном алгоритме поставленная задача реализуется за счет блочного объединения, когда спектр разбивается на N интервалов, в каждом из которых реализуется подсчет максимального значения (рис. 4, а). В настоящей работе N положено равным 50, поскольку в подавляющем количестве систем ДЗЗ количество каналов редко превышает обозначенное значение. После этого применяется нерекурсивный усредняющий фильтр (n отсчетов) для сглаживания флуктуаций спектра (рис 4, б). В настоящей задаче n положено равным 3, что оказывается достаточным для сглаживания имеющихся флуктуаций. При увеличении n в большую сторону пик чрезмерно размывается, что затрудняет его обнаружение, при меньшем n сглаживания не происходит, что может приводить к появлению побочных пиков. На следующем этапе последовательность преобразуется к бинарному виду, для этого следует выбрать некоторое пороговое значение, по которому будет произведено отсечение элементов яркости. Поскольку в настоящей задаче пики сильно выражены относительно общего фона, то в качестве статистики для подсчета порога выбрана медиана последовательности. Результат представлен на рисунке 4, с. Блок-схема первой части алгоритма представлена на рисунке 6, а.

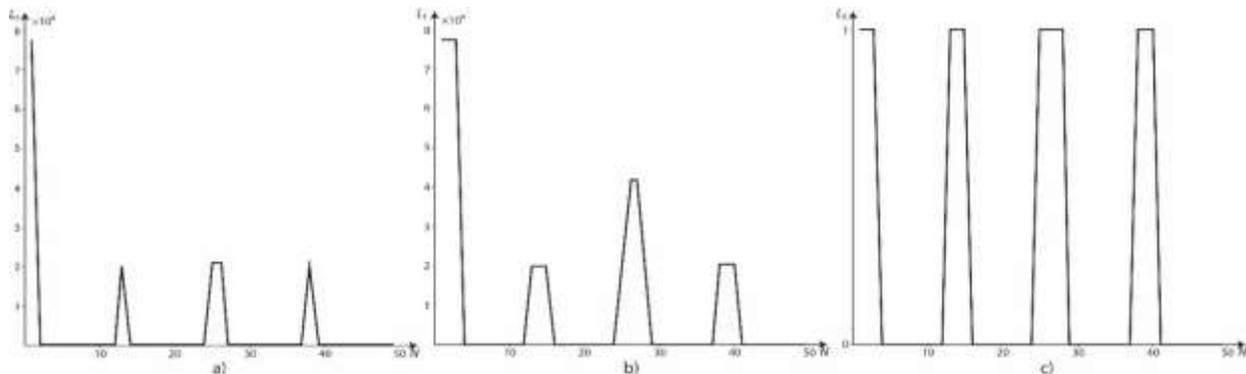


Рисунок 4. Результат применения первой части алгоритма к фурье-образу, представленному на рисунке 3, b: a) результат поиска максимумов на N интервалах; b) результат сглаживания; c) применение пороговой обработки.

Из рисунка 4, с, следует, что количество каналов на изображении в точности соответствует количеству интервалов с логическим нулем. Соответственно, необходимо произвести подсчет таких интервалов. Подсчет реализуется в цикле, в ходе которого формируется два одномерных массива, каждый из элементов которого представляет собой длину либо нулевого, либо единичного интервала. Блок-схема второй части алгоритма представлена на рисунке 6, b. Следует отметить, что в спектрах реальных изображений могут присутствовать побочные пики, обусловленные текстурой местности, поэтому перед окончательным подсчетом количества каналов такие пики должны быть удалены. Третья часть алгоритма, которая производит удаление побочных пиков, действует следующим образом: если размер интервала массива, приходящийся на единичным значения, соответствует 1 либо 2, то соответствующие ему интервалы массива, приходящиеся на нулевые значения, должны быть объединены. Значения, равные 1 и 2, выбраны исходя из анализа реальных изображений Земли из космоса, принцип работы третьей части алгоритма показан на рисунке 5, блок-схема второй части алгоритма представлена на рисунке 6, b.

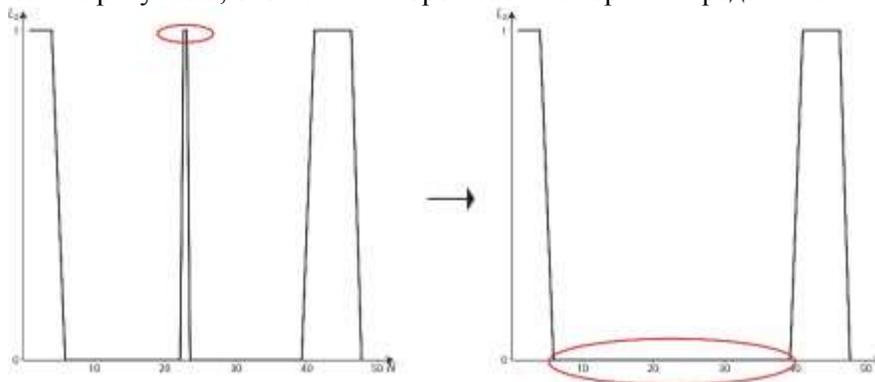


Рисунок 5. Принцип выполнения третьей части алгоритма.

4. Результаты эксперимента

Разработанный алгоритм реализован в среде MATLAB 18.b [6] и апробирован на серии изображений, полученных с различных систем ДЗЗ, в том числе MODIS (2 и 5 каналов) (рис. 7) [7], SPOT (4 канала) (рис. 8) [8], Landsat-7 (6 каналов) (рис. 9) [9], AVIRIS (30 каналов) [10], а также несъемочные данные ЦМР ArcGIS (2 канала). Как следует из приведённых рисунков, во всех случаях фурье-спектр одномерного сигнала при формате представления многозональных данных VIP разделен на количество интервалов, соответствующих количеству каналов многозонального

изображения. Для всех используемых изображений алгоритм показал корректную работу, за исключением случаев, когда на изображении присутствовал высокий процент облачности. В этом случае между различными зонами многомерного изображения отсутствует корреляция, и характерных квазипериодов, представленных на рисунках 1—3, не возникает. Следует отметить, что такие изображения, как правило, не представляют высокой ценности для исследователя, и предложенный алгоритм может быть использован в том числе для автоматизированного поиска обозначенной ситуации: если при всех трех типах хранения многомерных данных спектр фурье-образа разбит на один интервал, то это свидетельствует о том, что значения яркостей изображений каналов равны друг другу.

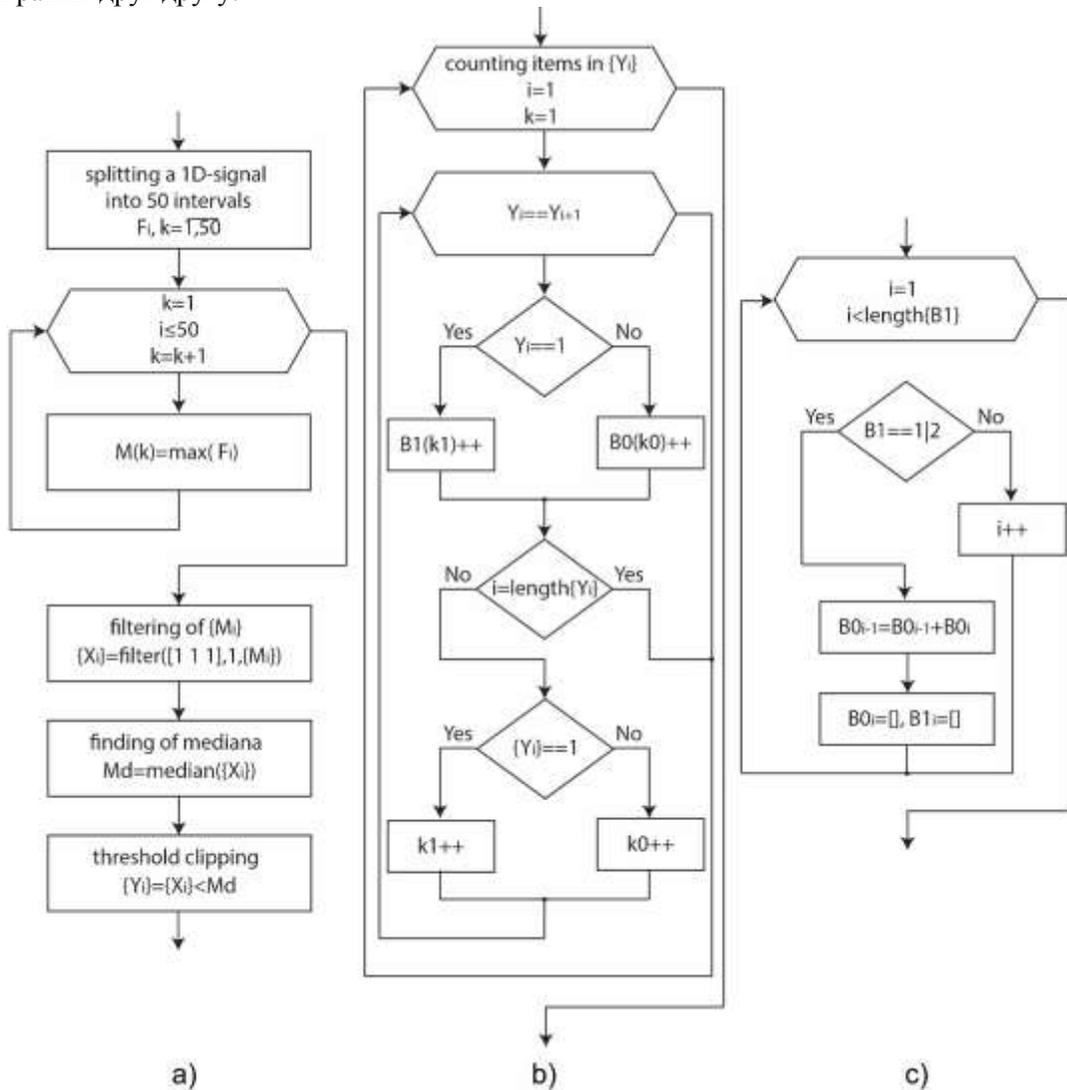


Рисунок 6. Блок-схема алгоритма: а) первая часть; б) вторая часть; в) третья часть.

Поскольку в качестве пороговой величины при работе алгоритма выступает медиана сформированной последовательности (рис. 6, а), то интересен вопрос поведения величины медианы для разных систем ДЗЗ. В таблице 1 представлена величина медианы, и ряд других статистических характеристик используемых изображений.

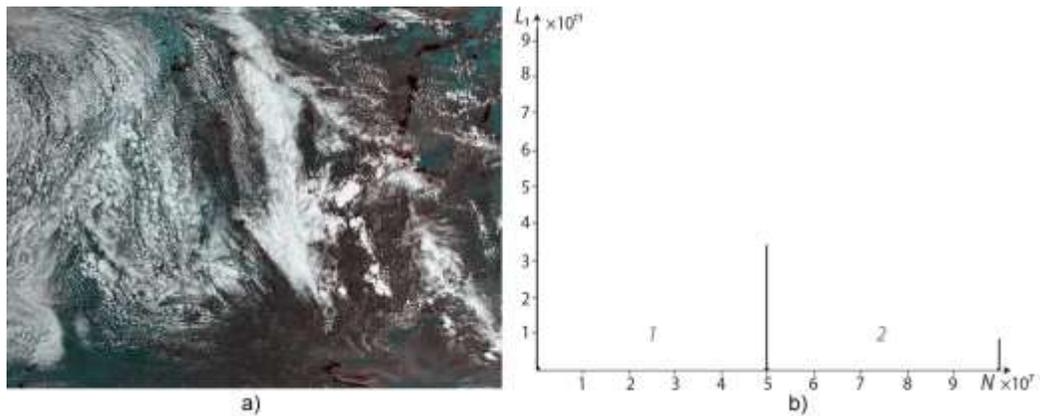


Рисунок 7. а) Фрагмент изображения спутника MODIS (показаны два красных и один инфракрасный каналы); б) фурье-преобразование одномерного сигнала.

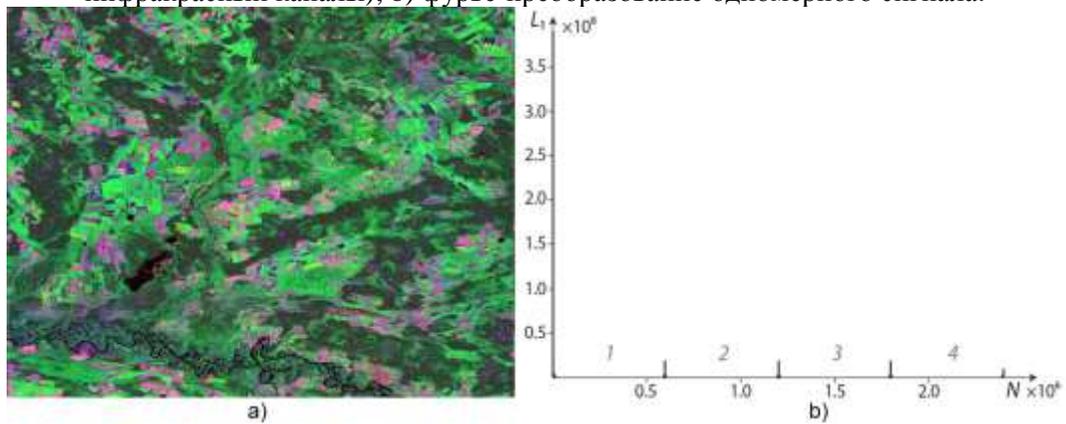


Рисунок 8. а) Фрагмент изображения спутника SPOT-7 (показаны красный, ближний инфракрасный и инфракрасный каналы); б) фурье-преобразование одномерного сигнала.

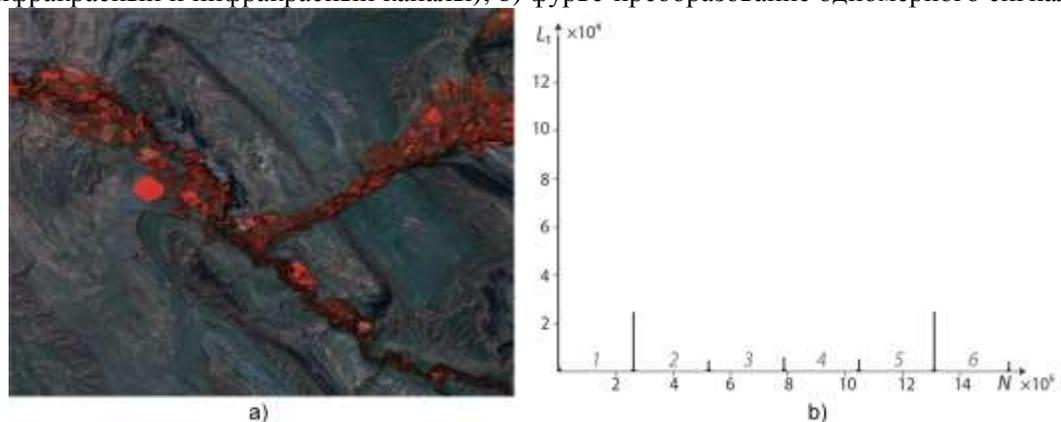


Рисунок 9. а) Фрагмент изображения спутника Landsat-7 (показаны красный, крайний красный и инфракрасный каналы); б) фурье-преобразование одномерного сигнала.

Как следует из таблицы 1, медиана, как правило, оказывается на порядок меньше среднего значения величин яркости спектра. Поэтому, если в качестве порогового значения положена медиана выборки, то она позволяет надежно отсечь пики от общего фона, поскольку всегда

оказывается на порядок меньше среднего значения, что обусловлено сильно выраженной квазипериодичности, особенно в VIP и ВIL.

Таблица 1. Некоторые статистические характеристики изображений.

Система ДЗЗ	Количество каналов	Размер изображений	Средняя яркость изображений	Средняя яркость спектра	Максимальная яркость спектра	Медиана яркости спектра
MODIS/250m	2	9200×5416	9685	$1,01 \cdot 10^{11}$	$9,66 \cdot 10^{11}$	$2,55 \cdot 10^8$
ЦМР ArcGIS	2	1800×3600	465	$4,35 \cdot 10^8$	$6,11 \cdot 10^9$	$2,94 \cdot 10^7$
SPOT 4	4	3000×3000	144	$3,90 \cdot 10^8$	$5,21 \cdot 10^9$	$1,63 \cdot 10^7$
MODIS/500m	5	4600×2708	8567	$5,26 \cdot 10^{10}$	$5,34 \cdot 10^{11}$	$3,06 \cdot 10^9$
Landsat 7	6	512×512	23	$1,26 \cdot 10^4$	$3,60 \cdot 10^7$	$1,71 \cdot 10^3$
AVIRIS	30	350×400	177	$4,69 \cdot 10^4$	$2,92 \cdot 10^6$	$6,24 \cdot 10^2$

5. Заключение

Разработан метод и реализующий его алгоритм, позволяющий в автоматическом режиме производить подсчет количества каналов в мультиспектральных изображениях, хранящихся в файлах несжатых форматов с полностью или частично утраченными метаданными. Данный алгоритм достаточен для надежной идентификации подсчета количества каналов при формате VIP, являющиеся одним из наиболее распространенных. Произведена проверка работы алгоритма на серии реальных изображений космических систем дистанционного зондирования Земли, во всех случаях количество каналов определено корректно, также указаны границы применимости разработанного алгоритма. Полученные результаты планируется положить в основу работ, посвященных автоматизированному восстановлению поврежденных изображений с любым из трех способов чередования данных с полностью или частично утраченной метаданной информацией на основании анализа фурье-спектра байтовой последовательности.

6. Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-29-09022\19.

7. Литература

- [1] Гонсалес, Р.С. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс – М.: Издательство «Техносфера», 2005. – 1168 с.
- [2] Zhuravel, Y.N. The features of hyperspectral remote sensing data processing under environment monitoring tasks solution / Y.N. Zhuravel, A.A. Fedoseev // Computer Optics. – 2013. – Vol. 37(4). – P. 471-476.
- [3] About ArcGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esri.com/ru-ru/arcgis/about-arcgis/overview> (12.12.2018).
- [4] Dorosinskiy, L.G. Modeling the clutter reflection suppression algorithm in synthetic-aperture radar / L.G. Dorosinskiy, A.A. Kurganski // CEUR Workshop Proceedings. – 2018. – Vol. 1. – P. 49-57.
- [5] Folland, G.B. Fourier Analysis and Its Applications / G.B. Folland – Providence: American Mathematical Society, 2009. – 433 p.
- [6] MATLAB for Artificial Intelligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com> (12.12.2018).
- [7] Aqua Earth-observing satellite mission [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aqua.nasa.gov> (12.12.2018).
- [8] Eesa Earth Online SPOT-4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-missions/current-missions/spot-4> (12.12.2018).

- [9] USGS Landsat Missions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con (12.12.2018).
- [10] AVIRIS: Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aviris.jpl.nasa.gov/> (12.12.2018).

Automatic recognition of the number of channels in unidentified multispectral data

N.S. Vinogradova¹, A.V. Sosnovskii¹, N.Iu. Sevastianova¹

¹Ural Federal University, Mira street 19, Ekaterinburg, Russia, 620002

Abstract. The work is devoted to the development of a method for identifying unknown parameters of multizone Earth images got from remote sensing systems. The method allows automatically to determine the method of alternating spectral channels and calculate their number for images stored in files of uncompressed formats. A theoretical justification based on a change in the shape of the Fourier spectrum with a change in the method of alternating channels in the data file is presented, features of the shape of the spectrum are revealed that allow reliable identification of the required characteristics. The results of applying the algorithm to real Earth images from space are presented, its applicability limits are indicated, and recommendations are given for choosing specific parameters of the algorithm.