

Телевизионные системы, передача и обработка изображений

УДК 621.396.969

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ЦИФРОВЫХ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Никитин Олег Рафаилович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: olnikitin@mail.ru.

Кисляков Алексей Николаевич

аспирант ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
E-mail: ankislyakov@mail.ru.
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

Аннотация: В работе представлен метод оценки информативности цифровых многоспектральных изображений, а также рассмотрена возможность его применения в задачах мониторинга земной поверхности. При использовании многоканальной системы дистанционного зондирования возникает необходимость оценки количества полезной информации на выходе системы. Для реализации метода оценки информативности использовались инструменты морфологического анализа и теория фракталов, которые позволяют анализировать не только по яркость пикселей, но форму объектов на изображениях. Вычисление фрактальной размерности для каждого из морфологических классов изображения позволяет получить гистограмму фрактальных размерностей, по характеристикам которой можно сделать вывод как о сложности отдельных объектов на изображении, так и об информативности всего изображения в целом. Предложенный метод позволяет адекватно оценить информативность цифровых многоспектральных изображений в системах дистанционного зондирования, что дает возможность более эффективно использовать данные при их дальнейшей обработке и анализе.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, морфологический анализ, фрактальный анализ.

Введение

Многоканальные системы дистанционного зондирования земной поверхности открывают новые перспективы изучения характеристик объектов путем оценки их параметров одновременно в различных диапазонах электромагнитного излучения, с использованием разных типов поляризаций, углов визирования, в различные моменты времени.

В некоторых работах, например [3–5], вопросы обнаружения сигналов многоканальными обнаружителями в условиях неточности априорного задания их параметров рассматривались. Однако непосредственных оценок влияния на ПКО за цикл обзора радиолокатора детальности СО в указанных работах не приводится.

Одной из особенностей использования данных, получаемых от подобных систем в виде наборов цифровых многокурсовых, многомодальных, многовременных и других типов изображений, является необходимость комплексирования [1] компонентных снимков для адекватной идентификации объектов наблюдаемой сцены и оценки исследуемых параметров.

Основным недостатком подобных систем является большой объем информации, подлежащей обработке, усложняющий работу системы в оперативном режиме.

Изучение параметров различных типов снимков на основе экспертных оценок показывает, что наиболее ценная для интерпретации информация о характеристиках объектов, обычно сосредоточена в небольшом количе-

стве спектральных каналов системы. В зависимости от условий и объекта наблюдения набор каналов может быть различным. Поэтому актуальным является вопрос проведения автоматизированного анализа информационного содержания цифровых изображений.

Цель работы – разработка методов анализа информационного содержания цифровых полутоновых изображений, необходимых для процедуры комплексирования изображений земной поверхности. Для этого необходимо решить задачу оценки информативности изображений с учетом яркостных и структурных свойств объектов.

Показатели информативности цифровых снимков

Исходя из представления информации наблюдаемой сцены как разнообразия яркости и морфологии процессов на ней, для оценки информационного состояния исследуемых объектов могут быть использованы следующие показатели [2]: информационная емкость E_{\max} , информационная энтропия E , информационная организация S , относительная энтропия h и избыточность R .

Информационная емкость E_{\max} , то есть максимальное разнообразие, вычисляется по формуле

$$E_{\max} = \log_2 k, \quad (1)$$

где k – количество классов, определяющих разнообразие. Это могут быть как градации пикселей по яркости, так и морфологические классы. Например, для цифровых многоспектральных полутоновых изображений, яркость пикселей которых варьируется от 0 до 255, информационная емкость составляет 8 бит/пиксель.

В качестве показателя, определяющего разнообразие по яркости цифровых изображений, используется количество информации Шеннона [2,3]. Выражение для оценки информативности полутонового изображения A_i выглядит следующим образом:

$$E(A_i) = -\sum_{i=1}^L p(a_i(x,y)) \cdot \log[p(a_i(x,y))], \quad (2)$$

где a_i – значение яркости каналов, $p(a_i(x,y))$ – функция (гистограмма) распределения яркости, $L \in [0, 255]$.

Совместная информация, содержащаяся в изображениях N каналов, есть

$$E(A_1, \dots, A_N) = \sum_{i=1}^N [E(A_i)] - T(A_1, \dots, A_N) \quad (3)$$

где $E(A_i)$ – энтропия изображения i -го канала A_i , $i=1, 2, \dots, N$. $T(A_1, A_2, \dots, A_N)$ – сопряженность между каналами:

$$T(A_1, \dots, A_N) = -\sum_{i=1}^L p(a_1, \dots, a_N) \cdot \log[p(a_1, \dots, a_N)], \quad (4)$$

– информация, содержащаяся в N каналах друг о друге, или мера сопряженности [1,4].

Значение энтропии достигает максимума, когда сигнал постоянен. Тот факт, что сигнал имеет максимальную информативность, когда он постоянен, противоречит интуитивному пониманию меры информативности. Кроме того, если сигнал имеет большое количество искажений, вызванных шумовыми воздействиями, то он формально обладает большим количеством информации. Наконец, эти меры не учитывают сложность структуры объектов, представленных на сцене [7, 9].

Таким образом, яркостная энтропия не позволяет адекватно оценить информативность изображений в условиях шумового воздействия [1,7], а также при работе со слабоконтрастными снимками. Одним из способов решения данной проблемы является применение морфологического анализа и теории фракталов при обработке данных дистанционного зондирования.

Методы морфологического анализа позволяют анализировать изображения не только по яркости пикселей, но и по форме объектов, изображенных на них. В рамках простейшей морфологии Пытьева [5] изображения рассматриваются как кусочно-постоянные функции вида:

$$f(x,y) = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \chi_i(x,y). \quad (5)$$

где n – число областей разбиения \mathbf{F} кадра Ω на связанные непересекающиеся области постоянной яркости; $\mathbf{F} = \{F_1, \dots, F_n\}$, $f = (f_1, \dots, f_n)$ – вектор действительных значений яркости, соответствующих каждой области разбиения; $\chi_i(x,y) \in \{0,1\}$ – характеристическая (индикаторная) функция i -й области яркости:

$$\chi_i(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) \in F_i, \\ 0, & f(x,y) \notin F_i. \end{cases} \quad (6)$$

Чем больше количество областей разбиения, тем точнее определяется принадлежность

того или иного объекта или группы объектов к определенному морфологическому классу.

Использование свойств фрактальной геометрии [6] для описания природных подстилающих поверхностей позволяет применять для обработки изображений фрактальную размерность, характеризующую степень заполнения пространства, в котором существует фрактальная система.

Размерность Хаусдорфа [2] – один из способов задания фрактальной размерности ограниченного множества в метрическом пространстве определяется как:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log Q(\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log Q(\varepsilon)}{-\log \varepsilon} \quad (7)$$

где $Q(\varepsilon)$ – минимальное число подмножеств диаметра ε , которыми можно покрыть исходное множество.

Представим полное покрытие множества X шарами радиуса не более чем ε , обозначим количество этих шаров за $Q(\varepsilon)$. Значение $Q(\varepsilon)$ будет расти при уменьшении ε (для полного покрытия будет требоваться все больше шаров). Размерностью Хаусдорфа некоторого множества будет являться такое уникальное число D , что $Q(\varepsilon)$ будет расти как $1/\varepsilon^D$ при стремлении ε к нулю. В работе для определения фрактальной размерности Хаусдорфа используется метод *box-counting* [2].

Для этого сначала необходимо выполнить оконтуривание исходного снимка одним из известных методов. Затем полученное бинарное изображение разбить на более мелкие ячейки, как правило, прямоугольной формы, и далее для каждой ячейки вычислить фрактальную размерность. От количества ячеек с ненулевой фрактальной размерностью зависит фрактальная размерность всего снимка.

Фрактальная размерность рассматривается как степень упорядоченности системы потому как она чувствительна к несовершенствам реальных объектов (областей яркости на изображениях), позволяя различать и индивидуализировать то, что прежде было безлико и неразличимо.

Для разных сцен фрактальная размерность D принимает различные значения, лежащие в пределах от 0 до 2. Например, изрезанные береговые линии, с геометрической точки зрения, это уже не одномерные объекты, но еще не двумерные, поэтому их размерность лежит

в пределах от 1 до 2. Если же изображение представляет собой множество мелких объектов с неоднородной яркостью, то при оконтуривании данные объекты приближенно рассматриваются как точки и их размерность лежит в пределах от 0 до 1. Таким образом, анализируя гистограмму фрактальных размерностей можно сделать вывод не только о сложности структуры объектов, но и о наличии шумов на изображении.

Определение фрактальной размерности для каждого из морфологических классов исследуемого изображения позволяет получить гистограмму фрактальных размерностей, по характеру которой можно сделать вывод как о сложности отдельных объектов на изображении, так и об информативности всего изображения в целом. Кроме того, если рассматривать данную гистограмму подобно гистограмме яркостей изображения, то представляется возможным вычислить энтропию (информационную размерность) для каждого класса. Информационная емкость при этом зависит от количества морфологических классов.

С учетом максимального и фактического структурного и яркостного разнообразия может быть рассчитана степень организации системы (S), то есть разница между максимально возможным и реальным структурным разнообразием (реализованное структурное разнообразие).

$$S = E_{\max} - E. \quad (8)$$

Коэффициент относительной энтропии системы (сжатия информации) h определялся по формуле

$$h = E/E_{\max}. \quad (9)$$

Высокий уровень относительной энтропии свидетельствует о неупорядоченности системы и значительном снижении уровня ее структурной целостности.

Коэффициент относительной организации системы (коэффициент избыточности) R вычисляется по формуле

$$R = (S/E_{\max}) \cdot 100 \%. \quad (10)$$

Математическое моделирование

Рассмотрим набор цифровых многоспектральных полутонных изображений окрестности Онежского озера, Россия, выполненных с помощью аппаратуры спутника Landsat 8. Съемка проводилась в 13 ноября 2013 г. в 11 диапазонах. 12-й диапазон качества позволяет выделить облачный и снежный покров. Моделиро-

вание проводилось в пакете прикладных программ MATLAB.

Гистограмма фрактальных размерностей для изображения двенадцатого диапазона приведена на рис. 1а.

При этом структурная энтропия всего изображения составляет 3,33 бит/пиксель, информационная емкость в соответствии с формулой (1) равна 5 бит/пиксель.

Некоторые морфологические классы имеют размерность меньше 1, что является следствием неупорядоченности элементов изображения. Так, наличие на изображении гауссова шума с величиной дисперсии $5 \cdot 10^{-5}$ приводит к снижению структурной энтропии до 2,41 бит/пиксель. Гистограмма фрактальных размерностей приобретает вид (рисунок 1б). Структурные энтропии E_S изображений различных каналов, приведены на рис. 2.

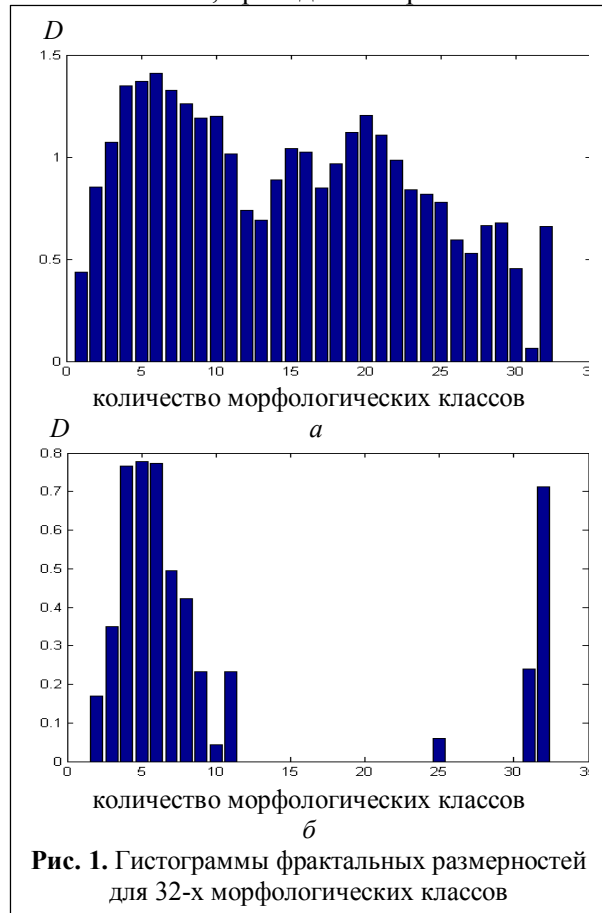


Рис. 1. Гистограммы фрактальных размерностей для 32-х морфологических классов

Определение морфологической (структурной) информативности осуществлялось на основе разбиения изображения на морфологические классы [5], вычисления фрактальной размерности для каждого из классов, построения гистограммы фрактальных размерностей и

определения на ее основании структурной энтропии каждого снимка.



Рис. 2. Структурные энтропии изображений Landsat 8



Рис. 3. Зависимость степени организации системы от количества морфологических классов

Совместная структурная информативность в данном случае может быть оценена на основе коэффициентов взаимной корреляции изображений в наборе с использованием методов факторного анализа путем разложения набора снимков по независимым составляющим и определении структурной энтропии каждой компоненты.

Заключение

Фрактальная размерность Хаусдорфа может быть использована для анализа информативности цифровых многоспектральных изображений путем расчета величины структурной энтропии изображения.

Понятие структурной энтропии позволяет адекватнее оценить информативность цифровых изображений относительно их содержания и наличия искажений в виде шумовых воздействий различной природы.

Дополнительные показатели информативности такие как информационная емкость, реальное структурное разнообразие, относитель-

ная энтропия, а также коэффициент относительной организации системы позволяют расширить представление о наблюдаемой сцене.

Литература

1. Никитин О.Р., Кисляков А.Н. Комплексирование многоспектральных изображений с использованием методов морфологического анализа и цветового кодирования / Всероссийский научно-технический журнал «Радиотехнические и телекоммуникационные системы» – изд. МИ ВлГУ №1 2013. – С. 52-57.
2. Чумак О.В. Энтропии и фракталы в анализе данных – М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011, 164 с.
3. Корчинский В.М. Информативность многоспектральных проекционных изображений. / Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2005, № 1 (15) С. 52-54.
4. J.M. Sotoca, F. Pla, A.C. Klaren. Unsupervised band selection for multispectral images using information theory. / Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), – 2004, Vol.3, pp. 510 – 513.
5. Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. Методы морфологического анализа изображений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 336 с.
6. Грушенко М.В., Пашенко Р.Э. и др. Обработка аэрокосмических изображений с использованием поля фрактальных размерностей / Системы обработки информации. – 2006, № 1(50), С. 35-41.
7. Бутенков С.А. Энтропийный подход к оценке качества гранулирования многомерных данных / Сб. трудов Одиннадцатой Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием, Дубна – 2008, С. 331-340.
8. Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филипс Т.Л. и др. Дистанционное зондирование: количественный подход / Под ред. Ф. Свейна и Ш. Дейвис. Пер. с англ. – М.: Недра, 1983. – 415 с. – Пер изд. США 1978. – 296 с.
9. Никитин О.Р., Кисляков А.Н. Повышение эффективности использования информации при комплексировании цифровых многоспектральных изображений / Всероссийский научно-технический журнал «Радиотехнические и телекоммуникационные системы» – изд. МИ ВлГУ №2 2014, С. 50-56.
10. Захарова Л.Н., Захарова А.И. и др. Совместный анализ данных оптических и радиолокационных сенсоров: возможности, ограничения и перспективы / Радиотехника и электроника. – 2011, том 56, № 1, С. 5-19.
11. Злобин В.К., Еремеев В.В., Кузнецов А.Е. Обработка изображений в геоинформационных системах: Учебное пособие. Рязан. гос. радиотехн. университет, Рязань. – 2006. – 264 с.
12. Никитин О.Р., Кисляков А.Н. Морфологическое комплексирование многоспектральных изображений земной поверхности / Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – изд. МИ ВлГУ №2., 2012. - С. 36-39.
13. Никитин О.Р., Пасечник А.С. Оконтуривание и сегментация в задачах автоматизированной диагностики патологий / Методы и устройства передачи и обработки информации. – № 11., 2009, С. 300–309.
14. O.R. Nikitin, Kislyakov A.N. Fusion of multispectral images using morphological analysis methods / International journal «Indian Science Cruiser (ISC)», Institute of Science, Education and Culture – Kolkata, India, vol. 26, num. 5, September 2012, – P. 35-39.

Поступила 15 февраля 2016 г.

English

Informational analysis of digital multispectral images of the ground surface

Nikitin Oleg Rafailovich – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Radio Engineering and Radio Systems Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov.

E-mail: olnikitin@mail.ru.

Kislyakov Alexey Nikolaevich – post-graduate student of the Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov.

E-mail: ankislyakov@mail.ru.

Address: 600000 Vladimir, Gorky str., 87.

Abstract: The article is devoted to the development of the informational analysis evaluation method of digital multispectral halftone images, and also to possibility of application the developed method for ground surface images integration. The topic of this article is of relevance as a lot of problems exist in regard to joint image processing from sensors operating in different electromagnetic radiation spectrums. One of such problems is the appropriate assessment of the practicality level of the obtained information. Pixel brightness entropy is often used in informational analysis. However the fact that a signal has the maximum informational content when it is continual contradicts intuitive understanding of informational content extent. Besides, if the signal has a large number of the distortions caused by noise effect then formally it has greater extent of information. The most

promising solution of this problem is using morphological analysis instruments and fractal theory that enable to analyze not only pixel brightness but image object shape as well. Calculation of fractal dimension for each of image morphological classes enables to get the fractal dimensions histogram according to parameters of which we can draw a conclusion on complexity of image separate objects. The concept of structural entropy is to evaluate appropriately the digital images informational content in regard to their content and available distortions such as various noise effects. The article's authors made assessment indicators analysis of the studied objects information status proceeding from the presented information of viewed scene as a variety of brightness and processes morphology in it; the evaluation method of multispectral image informational content is developed which enables to use data more effectively for their later processing and analysis; a mathematical computer simulation is also conducted using Matlab environment.

Key words: remote sensing, morphological analysis, fractal analysis.

References

1. Nikitin O. R., Kislyakov A.N. Integration of multispectral images using morphological analysis methods and color coding. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. – 1. 2013. - P. 52-57.
2. Chumak O.V. Entropies and fractals in data analysis - M.: Izhevsk: Research Center Reguljarnaya i haoticheskaya dinamika, 2011, 164 P.
3. Korchinsky V. M. Informational content of multispectral projection images. / Avtomatika. Avtomatizatsiya. Elektrotekhnicheskiye komplekсы i sistemy. - 2005, No. 1 (15) P. 52-54.
4. Sotoca J.M., Pla F., Klaren A.C. Unsupervised band selection for multispectral images using information theory. - Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), - 2004, Vol.3, pp. 510 - 513.
5. Pytyev Yu.P., Chulichkov A.I. Methods of image morphological analysis. - M.: FIZMATLIT, 2010. - 336 p.
6. Grushenko M. V., Pashchenko R. E., and other coll. Processing of space images using fractal dimensions field.- Sistemy obrabotki informatsii. - 2006, No. 1(50), P. 35-41.
7. Butenkov S. A. Entropy approach to quality evaluation of multidimensional data granulation. - Coll. papers of the Eleventh National conference on artificial intelligence with international participants, Dubna - 2008, P. 331-340.
8. Davis Sh.M., Landgrebe D. A., Phillips T.L., and other col.. Remote sensing: quantitative approach. - Ed. by F. Svain and Sh. Davis. Transl from Engl. - M.: Nedra, 1983. - 415 p.- First ed. USA 1978. - 296 p.
9. Nikitin O. R., Kislyakov A.N. Efficiency enhancement of information use in digital multispectral images integration. - Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. – 2. 2014. - P.50-56.
10. Zakharova L.N., Zakharova A.I., and other coll. Conjoint analysis of optical and radar sensors data: opportunities, limitations and perspective. - Radiotekhnika i elektronika. - 2011, volume 56, No. 1, P. 5-19.
11. Zlobin V. K., Yermeyev V. V., Kuznetsov A.E. Image processing in geographic information systems: Study guide. Ryazan stat. radioeng. university, Ryazan. - 2006. - 264 p.
12. Nikitin O. R., Kislyakov A.N. Morphological integration of multispectral images of the ground surface Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy. - Publ. MI VLSU No. 2., 2012, P. 36-39.
13. Nikitin O. R., Pasechnik A.S. Contouring and segmentation for pathology automated diagnostics/ Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii.. - No. 11., 2009, P. 300-309.
14. Nikitin O.R., Kislyakov A.N. Fusion of multispectral images using morphological analysis methods. - International journal "Indian Science Cruiser (ISC)", Institute of Science, Education and Culture - Kolkata, India, vol. 26, num. 5, September 2012, - P. 35-39.