

ОБРАБОТКА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛЯ ФРАКТАЛЬНЫХ РАЗМЕРНОСТЕЙ

М.В. Грушенко¹, Р.Э. Пашенко¹, Н.Н. Петрушенко², А.В. Шаповалов¹
(¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, ²В/ч А-0800)

Рассмотрена возможность анализа аэрокосмических изображений с использованием поля фрактальных размерностей. Оценено влияние размера "окна" и величины "скачка" на параметры поля фрактальных размерностей.

аэрокосмические изображения, поле фрактальных размерностей

Постановка задачи и анализ литературы. В настоящее время при решении задач дистанционного зондирования Земли используется широкий комплекс технических средств наблюдения, работающих в различных диапазонах длин волн [1, 2]. Информация, получаемая с помощью таких систем, представляется в виде черно-белых, цветных, многозональных, радиолокационных и других изображений местности. Основным методом обработки аэрокосмических изображений является визуальный метод [3]. При этом приходится анализировать обширный объем данных в виде фото- и видео материала, что приводит к низкому темпу обработки информации. Использование методов и устройств автоматизированной обработки позволяет повысить эффективность обработки аэрокосмических снимков, при этом часто используются спектральные [4] и контурно-текстурные [5] методы. Однако следует отметить, что данные методы позволяют получить лишь общие сведения об анализируемых изображениях и являются малоэффективными при работе со слабоконтрастными изображениями. Последние исследования показали возможность применения теории фракталов для решения задач дистанционного зондирования Земли [6 – 8].

Использование свойств фрактальной геометрии для описания природных подстилающих поверхностей позволяет применять для обработки изображений фрактальную размерность, которая характеризует степень заполнения пространства, в котором существует фрактальная система. Для не фрактальных объектов (линия, плоскость, шар) размерность принимает целочисленные значения, а для фрактальных – является дробной. При описании различных типов подстилающих поверхностей, они рассматриваются

как объединение областей характеризующихся конкретным дробным числом ($2 \leq D \leq 3$) – фрактальной размерностью. Фрактальную размерность можно определить, используя различные методы расчета.

Цель статьи. Рассмотреть возможность анализа аэрокосмических изображений с использованием поля фрактальных размерностей (ПФР), а также выбор параметров построения ПФР.

Использование поля фрактальных размерностей для анализа аэрокосмических изображений. При построении ПФР производится сканирование изображение "окном", размером $a \times b$ пикселей, с шагом перемещения s (при $s=1$ "окно" является "скользящим", а при $s>1$ – "скачущим"). На каждом шаге определяется численное значение фрактальной размерности $D_{i,j}$ в "окне" и записывается в матрицу D , которая называется "полем фрактальных размерностей".

Количество строк (M) и столбцов (N) полученной матрицы зависит от количества строк (столбцов) $m(n)$ анализируемого изображения, размера соответствующей стороны "окна" $a(b)$, величина "скачка" s "окна" и может быть найдено с использованием выражения

$$M(N) = \left\lceil \frac{m(n) - a(b)}{s} \right\rceil + 1, \quad (1)$$

где $\lceil \rceil$ – процедура взятия целой части числа.

Рассмотрим исходное радиолокационное изображение морской и земной поверхности (рис. 1, а), полученное в дециметровом диапазоне длин волн. Анализируемое изображение имеет размер $m \times n$ пикселей ($m = n = 900$), предварительные операции препарирования и улучшения качества изображения не проводились.

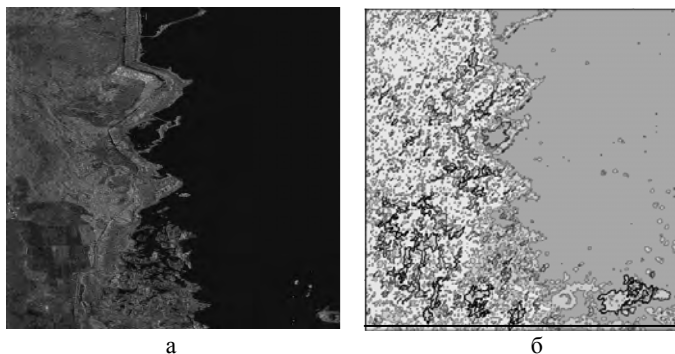


Рис. 1. Исходное радиолокационное изображение (а) и поле фрактальных размерностей (б)

В левой части изображения показан участок суши, состоящий из прибрежной полосы и различных полей, а правая часть изображения соответствует поверхности моря. Непосредственный анализ радиолокационного изображения позволяет лишь выделить некоторые поля в левой нижней части изображения и не позволяет определить особенности морской поверхности.

На рис. 1б показано поле фрактальных размерностей, построенное при использовании "скользящего окна" размером 17 на 17 пикселей. Для расчета фрактальной размерности используем известный метод расчета фрактальной размерности – метод призмы [9]. Численные значения фрактальной размерности рассчитывались с точностью до четвертого знака после запятой. Весь диапазон изменения фрактальной размерности разбивался на несколько уровней, которые показаны на рис. 1б различными градациями серого цвета. При визуальном представлении ПФР использовались численные значения фрактальной размерности, округленные до четвертого знака после запятой.

Визуальный анализ ПФР исходного изображения показывает, что морская поверхность имеет некоторые особенности (отличия в градациях серого цвета), которые на радиолокационном изображении не видны.

На вид и скорость построения ПФР оказывают влияние размер "окна" ($a \times b$) и шаг s его перемещения ("скользящее окно" или "скачущее окно").

Выбор параметров ПФР. В начале рассмотрим один из возможных подходов к выбору размера "окна". Для этого оценим влияния размера "окна" на величину фрактальной размерности тестового изображения, размер которого равен размеру "окна" ($m \times n = a \times b$). Для упрощения расчетов в дальнейшем будем использовать квадратное "окно" размером $a \times a$. В качестве тестового используется изображение с распределенной по равномерному закону яркостью в диапазоне значений от 0 до 1. В [10] отмечается, что случайно распределенные величины должны иметь фрактальную размерность $D \approx 2,5$. На рис. 2а представлен пример генерируемого тестового изображения, а на рис. 2б гистограмма распределения яркости I в интервале $[0, 255]$. Как видно из рис. 2, яркость тестового изображения распределена по равномерному закону, т.е. является случайной величиной.

Фрактальную размерность (ФР) сгенерированного изображения размера ($a \times a$) будем рассчитывать как статистическую оценку математического ожидания ФР по 1000 тестовым изображениям с заданным диапазоном распределения. Диапазон распределения изменятся от 0 до 255 с единичным шагом.

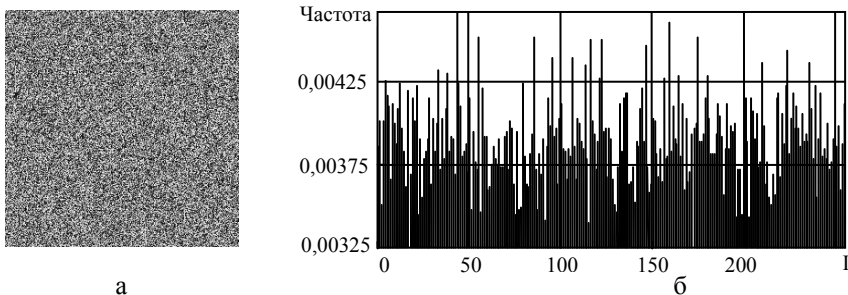


Рис. 2. Тестовое изображение (а) и его гистограмма яркости (б)

На рис. 3 представлены графики зависимости ФР (D) изображения от диапазона градаций яркости ($\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$) для случая $a = 2^k + 1$ при $k = 2, 3, 4, 5$.

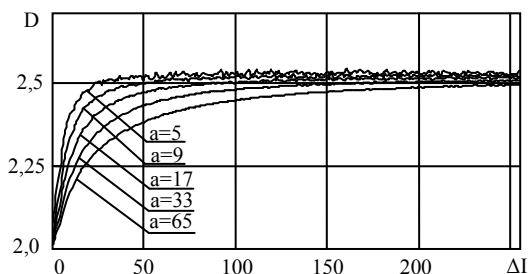


Рис. 3. Зависимость фрактальной размерности при различных размерах "окна" от диапазона градаций яркости

Как видно из хода кривых, каждый график имеет два участка: нелинейный – при малом диапазоне градаций яркости, и линейный – при его увеличении. С расширением диапазона значений яркости тестового изображения вне зависимости от его размера значение ФР сначала увеличивается, а затем стабилизируется и в предельном случае (яркость изображения равномерно распределена в интервале от 0 до 255) равна среднему за весь линейный участок. Кроме того, чем меньше размер тестового изображения ("окна"), тем раньше величина ФР стабилизируется и достигает истинных значений ($D \approx 2,5$).

На рис. 4 представлены модули ошибок δD определения фрактальной размерности в "окне" от диапазона градаций яркости ΔI , рассчитанные по формуле

$$\delta D = |2,5 - D(\Delta I)|. \quad (2)$$

На рис. 4 видно, что модуль ошибки определения ФР зависит от размера "окна" и диапазона значений яркости в нем. При большом диапазоне значений яркости ошибки определения ФР практически одинаковы. Однако при малых диапазонах яркости, что соответствует слабоконтрастным изображениям, целесообразно использовать "окна" не превышающие 17×17 пикселей.

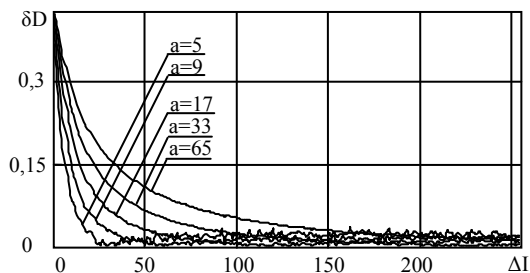


Рис. 4. Зависимость ошибок определения фрактальной размерности при различных размерах "окна" от диапазона градаций яркости

Таким образом, при выборе размера "окна" следует руководствоваться информацией о диапазоне значений яркости изображения.

Остановимся на выборе шага перемещения s "окна". Использование "скачущего окна" позволяет увеличить скорость построения ПФР (максимальная скорость будет при величине "скачка" равной размеру "окна" $s = a$), однако качество построения ПФР ухудшается. Рассмотрим влияние величины "скачка" на качество построения ПФР. Поле фрактальной размерности исходного изображения (рис. 1а) при использовании "скользящего окна" показано на рис. 1б.

На рис. 5а и 5б представлены поля фрактальных размерностей, полученные при величине "сачка" $s = 9$ и $s = a = 17$.

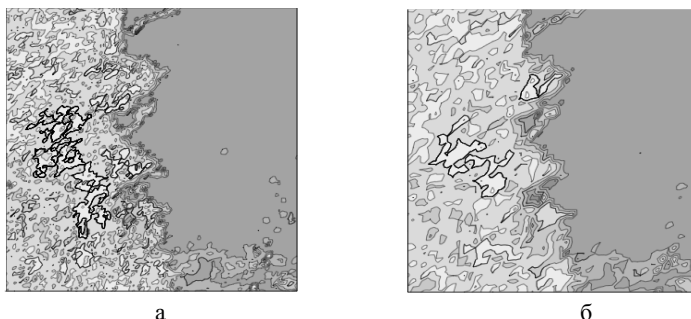


Рис. 5. Поля фрактальных размерностей при $s = 9$ (а) и $s = a = 17$ (б)

Как видно из сравнения рис. 1 и 5, увеличение величины "скачка" приводит к "сглаживанию" ПФР, т.е. небольшие неоднородности на изображении не выделяются, однако общий характер ПФР не изменяется.

Таким образом, при необходимости проведения детальной сегментации изображения целесообразно использовать "скользящее окно". Для увеличения скорости построения ПФР при небольшом ухудшении качества можно использовать "скачущее окно" с величиной "скачка" $s \leq a/2$.

Рассмотрим влияние размера "окна" и величины "скачка" на размер ПФР. Так как исходное изображение и "окно" являются квадратным, то у матрицы ПФР количество строк равно количеству столбцов ($M = N$).

В табл. 1 приведены значения размера ПФР ($M \times M$) при обработке исходного изображения "скользящим" и "скачущими" ($s = 1$, $s = a/2$, $s = a$) "окнами" различных размеров ($a \times a$), рассчитанные с использованием выражения (1).

Таблица 1

Значения размера ПФР ($M \times M$)

Величина "скачка"	Размер "окна" ($a \times a$)			
	(5 × 5)	(9 × 9)	(17 × 17)	(33 × 33)
$s = 1$	896	892	884	868
$s = a/2$	299	179	99	52
$s = a$	180	100	53	27

Как видно из таблицы при использовании "скользящего окна" размеры "окна" практически не влияют на размер ПФР и время его построения будет примерно одинаковым. Применение "скачущих окон" позволяет уменьшить размеры ПФР и тем самым увеличить скорость их построения, однако, как это было показано выше, качество построения ухудшается. Кроме того, при использовании "скачущих окон" размер ПФР значительно уменьшается при увеличении размера "окна", т.е. ПФР будет "сглаживаться" при увеличении размера "окна".

Выводы.

1. Поле фрактальных размерностей может быть использовано для анализа аэрокосмических изображений.
2. При выборе размера "окна" следует руководствоваться информацией о диапазоне значений яркости изображения.

3. Для проведения детальной сегментации изображения целесообразно использовать "скользящее окно".

4. Применение "скачущих окон" позволяет уменьшить размеры поля фрактальных размерностей и тем самым увеличить скорость его построения.

5. Целесообразно провести анализ влияния различных методов расчета фрактальной размерности на качество построения ПФР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матиясевич Л.М. Введение в космическую фотографию. – М.: Недра, 1989. – 149 с.
2. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Сканэкс, 1997. – 296 с.
3. Аксютов Л.Н. Прогнозирование вероятности распознавания объектов по космическим снимкам // Исследование Земли из Космоса. – №2, 1995. – С. 3-11.
4. Янути Д.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. – М.: Недра, 1992. – 249 с.
5. Андреев Г.А., Потапов А.А., Галкина Т.В., Колесников А.И., Орлова Т.И., Хлявич Я.Л. О классификации изображений по их текстурным признакам // Исследование Земли из Космоса. – 1990. – № 2. – С. 91-96.
6. Потапов А.А. Фракталы в дистанционном зондировании // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – 2000. – №6. – С. 3-65.
7. Пащенко Р.Э., Шаповалов А.В. Сегментация изображений методом ранжирования поля фрактальных размерностей // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 8 (36). – С. 103-107.
8. Грушенко М.В., Пащенко Р.Э., Шаповалов А.В. Мониторинг морской поверхности с использованием метода "к-дерева" поля фрактальных размерностей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 1 (19).
9. Clarke K. C. Computation of the Fractal Dimension of Topographic Surface Using the Triangular Prism Surface Area Method // Computers & Geosciences, 1986. – V. 12, no. 5. – P. 713-722.
10. Федер Е. Фракталы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

Поступила 20.01.2006

Рецензент: доктор технических наук, профессор В.Д. Карлов,
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.
