УДК 621.396.961

МЕТОДИКА ЛОКАЛИЗАЦИИ ФРАКТАЛЬНО - ОДНОРОДНЫХ УЧАСТКОВ В РЕЗУЛЬТАТАХ НАБЛЮДЕНИЙ

д.т.н. Ю.Г. Даник, М.В. Маляров, А.А. Толстая

Рассмотрена методика локализации фрактально - однородных участков подстилающей поверхности (море, лес, посевные поля). В качестве критерия локализации фрактально-однородных участков используется фрактальная размерность. В работе показано, что изменения размерности в зависимости от месторасположения участка, подчинено нормальному закону распределения. Предложен алгоритм локализации фрактально - однородных участков фрактальных природных структур. Получены границы изменения фрактальной размерности и решающее правило локализации фрактально - однородных участков.

Обнаружение малоразмерных объектов является актуальной задачей в практике обнаружения. Появились новые методы обнаружения объектов, в частности с использованием фракталов [1,2]. Используя в качестве критерия обнаружения фрактальную размерность, можно обнаруживать нефрактальные объекты и вносимые ими возмущения на фоне фрактальных природных структур. При этом обнаружение проводится на фоне однородной подстилающей поверхности (море, лес, посевные поля). Если же поверхность неоднородна, то предлагается на первом этапе, до начала обработки, провести локализацию на подстилающей поверхности фрактально - однородных участков, а затем проводить обнаружение объектов.

В качестве критерия локализации фрактально - однородных участков по-прежнему предлагается использовать фрактальную размерность. Вычисление фрактальной размерности с точностью до десятых позволит с уверенностью распознавать различные типы подстилающих поверхностей [3].

Итак, после наблюдения получено фрактальное изображение подстилающей поверхности. Необходимо выработать алгоритм и решающее правило локализации фрактально - однородных участков.

Для этого воспользуемся следующими предпосылками. Для однородных фрактальных поверхностей размерность всего изображения и любого его участка одинакова (так называемый принцип самоподобия). Причем, для классических фракталов это условие соблюдается полностью, а для фрактальных природных структур размерность изменяется случайным образом. Так как ошибки, вносимые различными факторами, независимы и их вклад в суммарную ошибку примерно одинаков, то это позволяет предположить, что суммарная ошибка определения фрактальной размерности распределена по нормальному закону. Проведенные исследования подтвердили это предположение. Изменение размерности в зависимости от местоположения участка подчинено нормальному закону распределения (рис. 1). Однако, в [4] показано, что принцип самоподобия соблюдается только в том случае, если площадь участка больше некоторой критической площади (размера самоподобия). Для различных природных структур размер самоподобия различен, однако, исследования, проведенные для различных природных структур, показали, что уменьшение площади участка изображения вплоть до 1 % от исходной (10 % от линейного размера) незначительно влияет на изменение фрактальной размерности. На рис. 2 представлена зависимость фрактальной размерности от

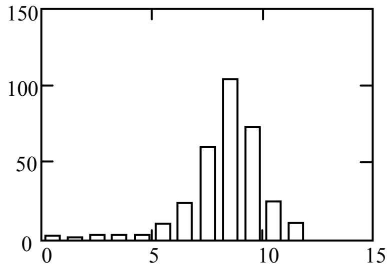

Рис. 1. Гистограмма распределения фрактальной размерности

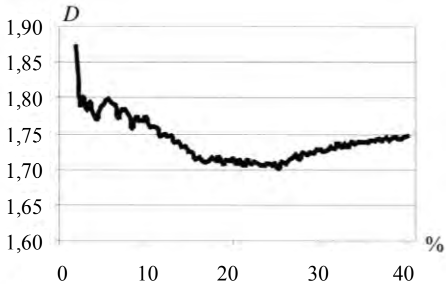

Рис. 2. Зависимость фрактальной размерности от величины участка

величины участка изображения.

Итак, воспользовавшись приведенными предпосылками, предложим алгоритм локализации фрактально - однородных участков природных фрактальных структур, состоящий из трех этапов.

На первом этапе изображение разбивается на области, линейные размеры которых не менее 10 % от линейного размера исходного изображения. Разбитие изображения можно проводить процедурой «скользящего окна». Для предварительного выделения и уменьшения вычислительных затрат процедуру «скользящего окна» можно заменить на скачкообразное движение окна, что дает уменьшение вычислительных затрат примерно в $\frac{\mathbf{N}}{\mathbf{10}}$ раз, где $\mathbf{N}$ - линейные размеры обрабатываемой области.

На втором этапе производится вычисление фрактальной размерности для области, покрытой на данный момент «скользящим окном». Вычисление фрактальной размерности предлагается проводить методом покрытия. Метод покрытия для вычисления фрактальной размерности широко описан в литературе по фракталам [3, 5, 6].

На третьем этапе производится выращивание областей, механизм которого состоит в следующем. Выращиваемый класс должен характеризоваться неким свойством, в нашем случае этим свойством выступает фрактальная размерность. Начиная с любого элемента изображения, проверяется (относительно каждого его соседа) обладает ли он тем же свойством. Если это так, этот элемент включается в данную область и, в свою очередь, проверяются его соседи и т.д. Когда больше не останется элементов, смежных с данной областью, процедура останавливается и начинается снова с любого элемента, не включенного в данную область. Алгоритм заканчивается, когда все элементы приписаны к какой - либо области. Необходимо отметить, что в ряде случаев второй и третий этапы (вычисление размерности и классификацию) представляется возможным проводить для каждого положения «скользящего окна».

Предложим решающее правило выделения. Для этого рассмотрим ситуации, возникающие при локализации фрактально-однородных участков на фрактальных природных структурах.

Допустим известно, что на изображении имеется два или более классов $\Omega_1, \Omega_2 .. \Omega_n$, которые отличаются средними значениями фрактальной размерности $\mu_1, \mu_2 . \mu_n$ и имеют среднеквадратичное отклонение $\sigma_1, \sigma_2 .. \sigma_n$ (рис. 3). Локализация ведется по одному параметру – фрактальной размерности. Такая ситуация, при которой известны характеристики всех классов, возникает при мониторинге известных областей (например, береговой линии) или при наблюдении фиксированной области.

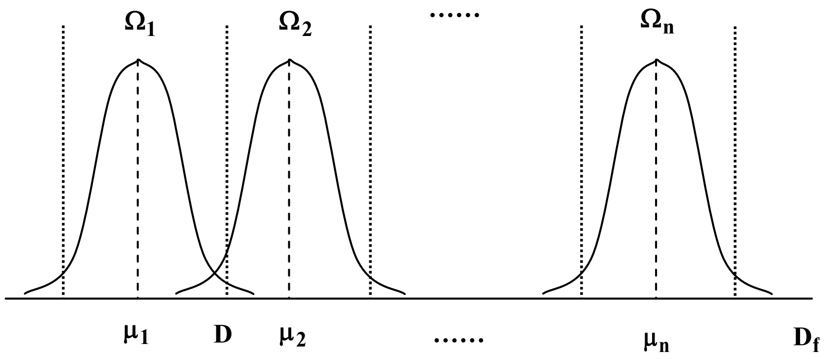

Рис. 3. К пояснению выбора правила локализации

Случайные значения измеряемой величины D_f, как было показано ранее, распределены по нормальному закону

$$f_n(D_f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left\{-\frac{(D_f - \mu_n)}{2\sigma_n}\right\}. \qquad (1)$$

При локализации, проводя вычисления параметра D_f, необходимо принять решение о принадлежности участка к одному из классов. Рассмотрим это на примере двух классов. Для этого необходимо выработать правило, в соответствии с которым выбирается та или иная гипотеза. Если выбрать порог $\mathbf{D}$, то правило решения можно сформулировать следующим образом: при значениях $\mathbf{D_f \leq D}$ принимаем гипотезу о принадлежности участка, покрытого скользящим окном, к классу $\mathbf{\Omega_1}$, а при значениях $\mathbf{D_f \geq D}$ - к классу $\mathbf{\Omega_2}$.

При этом возможны два рода ошибок: участок принадлежит к первому классу $\mathbf{\Omega_1}$, а принято решение о принадлежности его к классу $\mathbf{\Omega_2}$ (ошибки первого рода), и, соответственно наоборот (ошибки второго рода).

Если задаться стоимостями правильного и ошибочного решения, то можно записать выражения для среднего риска в виде

$$\mathbf{R = \sum_i C_i P_i}\ ,$$

где $\mathbf{C_i}$ - стоимость, а $\mathbf{P_i}$ - вероятность $\mathbf{i}$ - й ситуации.

Выражая вероятности $\mathbf{P_i}$ через условные вероятности ошибок первого и второго рода и условные вероятности правильного решения, которые для каждого из классов запишутся в виде:

$$\mathbf{Q_n = \int_D^{\infty} f_n(D_f)dD}\ ;$$

$$\mathbf{D_n = 1 - Q_n}\ ,$$

и принимая во внимание, что нам известны вероятности появления для каждого из классов $\mathbf{p(\Omega_1)...p(\Omega_n)}$, а также определяя минимум среднего риска, беря производную $\mathbf{\frac{\partial R}{\partial D}}$, получим выражение для отношения правдоподобия в виде

$$\mathbf{\lambda(D) = \frac{f_2(D)}{f_1(D)} = \frac{C_{12}p(\Omega_1)}{C_{12}p(\Omega_2)}}\ , \qquad (2)$$

где $\mathbf{C_{12}}$ и $\mathbf{C_{21}}$ - стоимости ошибок первого и второго рода соответственно.

Подставляя (1) в (2) определим значение порога $\mathbf{D}$.

Определяя величины порогов для каждого из классов, получаем решающее правило выделения фрактально - однородных участков, согласно которому участок, покрытый «скользящим окном», может быть отнесен к тому или иному классу.

Рассмотрим другой случай. Допустим, что известны характеристики только одного из классов $\mathbf{\Omega}$, который должен присутствовать на изображении. Такая ситуация возможна при наблюдении морской поверхности с движущегося объекта (морская поверхность присутствует всегда).

В этом случае, задаваясь вероятностью $\mathbf{p}$, можно определить диапазон пороговых значений $\mathbf{D_1}, \mathbf{D_2}$, в которых с вероятностью $\mathbf{p}$ лежат все значения измеряемой фрактальной размерности для этого класса (рис. 4). При проведении локализации участки, для которых вычисленные значения фрактальной размерности попадают на участок от $\mathbf{D_1}$ до $\mathbf{D_2}$, относим к данному классу $\mathbf{\Omega}$, а участки, соответственно, не принадлежат классу $\mathbf{\Omega}$.

Известно, что для нормально распределенной случайной величины вероятность попадания на участок от $\mathbf{D_1}$ до $\mathbf{D_2}$ определяется выражением

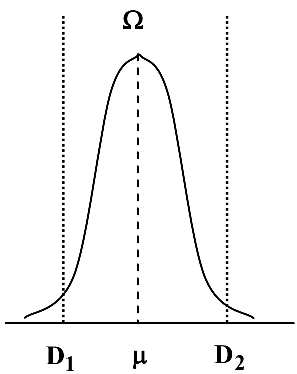

Рис. 4. К пояснению выбора правила локализации

$$\mathbf{P(D_1 < D_f < D_2) = \int_{D_1}^{D_2} f(D_f) dD_f},$$

и определяется через функцию Лапласа

$$\mathbf{P(D_1 < D_f < D_2) = \Phi\left(\frac{D_2 - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{D_1 - \mu}{\sigma}\right)}.$$

Если задать границы участка $\mathbf{D_1}$ и $\mathbf{D_2}$ симметрично относительно математического ожидания μ, то вероятность попадания на участок $\mathbf{2D}$ определится в виде

$$\mathbf{P\left(|D_f - \mu| < D\right) = 2\Phi\left(\frac{D}{\sigma}\right)}. \qquad (3)$$

Задаваясь величиной $\mathbf{P}$ (например, 0.95) и по формуле (3) вычисляя величину $\mathbf{D}$, получим границы изменения фрактальной размерности $[\mu - \mathbf{D}; \mu + \mathbf{D}]$ и, соответственно, решающее правило выделения для этого случая.

Однако, при наблюдении фрактальных природных структур возможен случай, при котором характеристики наблюдаемой поверхности неизвестны.

В этом случае, для определения правила локализации предлагается воспользоваться следующим предположением. Начиная классификацию, первое полученное значение фрактальной размерности принимаем за среднее значение μ для соответствующего класса $\mathbf{\Omega}$ и вырабатываем решающее правило классификации в соответствии с рассмотренным выше случаем (по формуле (3)).

При дальнейшей локализации изображения, если вновь обрабатываемый участок принадлежит к этому же классу $\mathbf{\Omega}$, производим пересчет среднего значения μ по рекуррентной формуле

$$\mu_n = \mu_{n-1}\frac{n-1}{n} + \frac{D_f}{n}.$$

Таким образом, проводя локализацию, постепенно приходим к выше описанному случаю, при котором известны характеристики одного из классов.

Рассмотренные выше случаи позволяют проводить локализацию фрактально - однородных участков природных структур фрактальным методом. При неоднократном наблюдении и наборе статистики о средних значениях фрактальной размерности для конкретных типов фрактальных природных поверхностей можно проводить не только локализацию фрактально-однородных участков, но и принимать решение о типе подстилающей поверхности. Необходимо отметить следующее, так как нефрактальные объекты имеют целую размерность, то если при выделении фрактально-однородных участков фрактальная размерность примет целое (или близкое к целому) значение, то в данной области возможно наличие нефрактального объекта и для нее проводится дополнительная обработка.

Предложенные алгоритмы могут быть реализованы как самостоятельное звено при локализации фрактально-однородных участков на фрактальных природных структурах, так и в качестве одного из этапов при их обработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Даник Ю.Г. Фрактальное обнаружение объектов. //Збірник наукових праць ХВУ. – Х.:ХВУ. – 1999. – Вип.4 (26). – С. 57 – 60.*
2. *Потапов А.А., Герман В.А., Соколов В.М. Радиолокационное обнаружение цели на фоне земной поверхности фрактальным методом //Радиотехника. – 2000. – №8. – С. 89 - 101.*
3. *Кронвер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Постмаркет, 2000. – С.76 - 88.*
4. *Васильев Л.Н., Тюфлин А.С. Фрактальность пространственных структур геосистем // Исследование Земли из космоса. – С. 24 - 26.*
5. *Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1989. – С. 123 - 130.*
6. *Фракталы в физике // Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике. – М: Мир. – 1988.– С. 91 - 145.*

Поступила 28.02.2002

***ДАНИК Юрий Григорьевич**, доктор техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научного центра ХВУ. Область научных интересов – оптико - электронные информационные системы.*

***МАЛЯРОВ Мурат Всеволодович**, адъюнкт Харьковского военного университета. Область научных интересов – оптико - электронные наблюдения объектов, обработка изображений.*

***ТОЛСТАЯ Алла Александровна**, преподаватель Харьковского военного универси-*

тета. Область научных интересов – оптико - электронные информационные системы.