

Исследование точности фрактальной обработки данных в компьютерной программе Fractan

О.Б. Бавыкин

Московский Политех, Москва

Аннотация: в работе выполнено исследование точности расчета показателя Херста в компьютерной программе Fractan для различных вариантов создания временного ряда. Представлены возможные причины отклонения теоретического значения от подсчитанного в программе Fractan. С целью повышения точности фрактального анализа предложена разработка собственной компьютерной программы.

Ключевые слова: Fractan, временной ряд, фрактальный анализ, фрактальная размерность, показатель Херста, R/S-анализ.

В связи с появлением и стремительным развитием современных методов обработки и получения материалов активно развивается оценка характеристик поверхности и эксплуатационных свойств будущих изделий с применением теории фракталов [1-4].

На данный момент условно можно выделить два типа компьютерных программ для фрактального анализа.

Первый тип позволяет вычислить фрактальные характеристики (различные фрактальные размерности) интегрально для всей поверхности целиком. Сюда относятся программы, предназначенные для настройки и работы со сканирующими зондовыми микроскопами [5-6].

Второй тип программного обеспечения предназначен для фрактального анализа временного ряда (или его графического представления в виде графика), составленного из значений высот элементов поверхности. В этом случае обычно вычисляют такую численную характеристику как показатель Херста (параметр H) [1].

Для изучения различных разновидностей временных рядов Херст предложил следующую формулу (1):

$$\frac{R}{S} = (a\tau)^H, \quad (1)$$

где α – постоянный коэффициент (Херст предложил $\alpha = 1$, однако существуют исследования, показывающие, что в некоторых случаях лучше брать другие значения коэффициента);

τ – объем временного ряда (число наблюдений);

H – само значение показателя Херста (теоретически принимает значения от 0 до 1);

R – размах отклонения временного ряда;

S – стандартное отклонение временного ряда.

Значение показателя H определяется:

- вычислением тангенса угла наклона функции $\frac{R}{S}$ от τ , построенной в двойных логарифмических масштабах;

- вычислением по формуле 1 (выражением параметра H из указанной формулы).

По подсчитанным значениям показателя Херста H можно [7]:

- определить фрактальность ряда: фрактальный, при $H = 0 \dots 0,5$ и при $H = 0,5 \dots 1$; нефрактальный если $H = 0; 0,5; 1$;

- оценить наличие зависимости поведения будущих элементов временного ряда от «прошлого» этого ряда: процесс марковский при $H = 0,5$; немарковский процесс если $H = 0 \dots 0,5$ и при $H = 0,5 \dots 1$;

- качественно оценить зависимость «прошлого» ряда от его «будущего»: персистентная корреляция при $H = 0,5 \dots 1$; антиперсистентная зависимость при $H = 0 \dots 0,5$;

- определить возможность предсказания поведения объекта (значений временного ряда) в будущем: предсказание возможно при $H = 0 \dots 0,5$ и при $H = 0,5 \dots 1$;

- определить вид шума: розовый шум при $H = 0 \dots 0,5$; белый гауссовский шум при $H = 0,5$; черный шум если $H = 0,5 \dots 1$.

Компьютерная программа Fractan предназначена для математического моделирования и математической обработки данных, в том числе для определения параметра H через вычисление тангенса угла наклона функции $\frac{R}{S}$ от τ . При расчетах показателя Херста в указанной программе используется рекомендуемое Херстом значение $\alpha=1$.

Анализируя базу данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU [8] можно отметить высокую популярность программы Fractan при проведении научных исследований (таблица 1).

Таблица 1

Результаты анализа базы данных Научной электронной библиотеки
eLIBRARY.RU

Наименование характеристики	Значение
Количество публикаций в базе, найденных по поисковому запросу «Fractan»	96
Максимальное значение цитируемости публикации (среди найденных публикаций)	55 (Динамика фрикционного взаимодействия. Мусалимов В.М., Валетов В.А. Монография / Санкт-Петербург, 2006.)
Число монографий (среди найденных публикаций)	3
Число зарубежных изданий (среди найденных публикаций)	6

Кроме того, в каталоге электронной библиотеки диссертаций (<http://www.dissercat.com>) при поиске по ключевому слову «Fractan» отображается 18 диссертационных работ.

Анализируя компьютерную программу Fractan можно предположить следующие причины ее высокой популярности:

- основана на принципе freeware, то есть программа распространяется бесплатно;

- широкие возможности по математическому моделированию данных (создание аттракторов Хенона, Лоренца, Рессела, генерация различных временных рядов с заданными параметрами с возможностью сохранением данных в отдельный файл);

- возможность вычисления показателя Херста и корреляционного интеграла;

- русскоязычный и англоязычный интерфейсы;

- высокая скорость работы.

Однако, в литературе отсутствует информация о точности фрактальной обработки информации программой Fractan и для изучения этого вопроса была разработана следующая методика.

1. В программе Fractan генерировался временной ряд с определенными параметрами: длина временного ряда, среднее квадратическое отклонение, значении показателя Херста (в случае если этот параметр можно задать при генерации ряда).

2. Сгенерированный ряд с помощью программы Fractan сохранялся в отдельный текстовый файл в ASCII формате. Каждый такой файл состоял из одной колонки со значениями элементов временного ряда. После создания текстового файла программа Fractan закрывалась.

3. Программа Fractan снова запускалась. В нее загружался и обрабатывался сгенерированный текстовый файл. Обработка исходных данных заключалась в вычислении параметра H для всей длины ряда.

4. Пункты 1-3 повторялись для временного ряда с другими параметрами.

Характеристики исходных данных и результаты их фрактальной обработки в программе Fractan (использовалась версия 4.4) представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Исходные данные и результаты фрактальной обработки в программе Fractan обобщенного броуновского шума и обобщенного броуновского движения

Тип генерируемого ряда	Параметры генерируемого ряда				Обработка временного ряда
	Номер ряда	Длина ряда	Параметр H	Среднее квадратическое отклонение	Вычисленное значение параметра H
обобщенный броуновский шум	1	10000	0,5	10	0,4412
	2	10000	0,2	10	0,2184
	3	10000	0,8	10	0,9075
обобщенный броуновское движение	4	10000	0,5	10	0,9674
	5	10000	0,2	10	0,9958
	6	10000	0,8	10	1,0185

Таблица 3

Исходные данные и результаты фрактальной обработки в программе Fractan гауссовского шума

Параметры генерируемого ряда			Обработка временного ряда	Теоретическое значение показателя Херста H
Номер ряда	Длина ряда	Среднее квадратическое отклонение	Параметр H	
7	10000	25	0,5423	0,5
8	10000	100	0,4757	0,5
9	10000	500	0,3728	0,5
10	10000	1000	0,6641	0,5
11	10000	10	0,6633	0,5
12	10000	5	0,4265	0,5

Анализ полученных результатов:

а) обобщенный броуновский шум;

- точность вычисления показателя Херста можно оценить как высокую;

б) обобщенное броуновское движение;

- все вычисленные значения параметра H сильно отличаются от заданных значений и приближаются к 1,0;

- вычисленные значения показателя Херста для временного ряда под номером 6 превосходит максимальное теоретическое значение, равное единице;

в) для гауссовского шума;

- все подсчитанные программой Fractan значения параметра H значительно отличаются от теоретического значения показателя Херста для шума Гаусса.

Анализируя данные таблиц можно выдвинуть рабочую гипотезу о причинах расхождения экспериментальных данных от теоретической и заданных:

- ошибки в алгоритме моделирования данных;

- ошибки в алгоритме расчета параметра H ;

- влияние коэффициента α , используемого в формуле R/S-анализа (согласно исследованиям, приведенным в [1], для R/S-анализа наилучшим образом подходит $\alpha = 0,8$; $\alpha = 1,1$ и $\alpha = 1,3$);

- одновременное воздействие нескольких из указанных выше факторов.

Для проверки выдвинутой гипотезы необходимо разработать программное обеспечение для фрактального анализа данных, рассчитать в нем показатель Херста, и полученные результаты сравнить с результатами расчетов в программе Fractan.

При этом разрабатываемая программа должна обладать следующими особенностями:

- высокая точность фрактальной обработки данных;



- возможность вычислять параметр H по различным значениям коэффициента α ;

- возможность вычислять показатель Херста как приближенно по формуле 1, так и более точно через тангенс угла наклона кривой.

Программная среда типа Excel или Calc позволяет обеспечить выполнение перечисленных выше особенностей. Так, согласно исследованиям [9], табличный процессор Excel обладает высокой точностью статистической обработки данных.

Кроме того, в указанных выше программах предусмотрена возможность программировать собственные потребительские функции, благодаря чему реализуется вычисление параметра H для различных значений коэффициента α .

В случае подтверждения выдвинутой гипотезы выполнять фрактальной анализ временного ряда следует в альтернативных программных продуктах, при условии, что их алгоритмы работы не влияют на точность фрактальной обработки. Разработанный программный продукт может быть использован в учебном процессе [10].

Литература

1. Feder J. Fractals // N.Y.: Plenum Pub. Corp., 1988. P. 310
2. Mandelbrot B.B. Fractals // Encyclopedia of Physical Science and Technology, N.Y.: Academic Press, 1987. V.5. pp.579-593.
3. Бавыкин О.Б. Формирование учебных занятий с применением измерительной системы для измерения шероховатости поверхности MarSurf XR 20 // Инженерный вестник Дона, 2014, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2466.



4. Гачаев А.М. О фрактальной структуре нефтегазовых месторождений //Инженерный вестник Дона, 2011, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/392.

5. Бавыкин О.Б. Фрактальная многомерная шкала, предназначенная для управления режимом размерной ЭХО и оценки его выходных данных // Инженерный вестник, 2013. № 7. С. 1.

6. Вячеславова О.Ф., Бавыкин О.Б., Ткаченко И.О. Современные методы исследования поверхности с использованием программы "NOVA". Критерии и цели // М.: Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), 2012. 44 с.

7. Потапов А.А., Вячеславова О.Ф., Бавыкин О.Б. Параметрическая методика определения наличия фрактальных свойств у электрохимически обработанных поверхностей // Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 3. С. 3-12.

8. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. URL: elibrary.ru/defaultx.asp (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9. Excel в статистическом моделировании В.В.Заляжных. URL: arhiuch.ru/st1.html (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. ру.

10. Бавыкин О.Б. Применение в образовании специализированных компьютерных программ «NOVA» и «MYTESTX» // IDO Science., 2011. - № 1. - С. 10-11.

References

1. Feder J. Fractals. N.Y.: Plenum Pub. Corp., 1988. P. 310.

2. Mandelbrot B.B. Fractals. Encyclopedia of Physical Science and Technology, N.Y.: Academic Press, 1987. pp. 593.

3. Bavykin O.B. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2466.

4. Gachaev A.M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/392.



5. Bavykin O.B. Inzhenernyj vestnik. 2013. № 7. P. 1.
6. Vyacheslavova O.F., Bavykin O.B., Tkachenko I.O. Sovremennyye metody issledovaniya poverkhnosti s ispol'zovaniem programmy "NOVA". Kriterii i tseli [Modern methods of surface research using the "NOVA" program. Criteria and objectives] M.: MSTU, 2012. 44 p.
7. Potapov A.A., Vyacheslavova O.F., Bavykin O.B. Nelineyny mir. 2014. T. 12. № 3. pp. 3-12.
8. Nauchnaya elektronnyaya biblioteka eLIBRARY.RU [Scientific electronic library eLIBRARY.RU]. URL: elibrary.ru/defaultx.asp.
9. V.V.Zalyazhnykh/ Excel v statisticheskom modelirovanii [Excel in statistical modeling]. URL: arhiuch.ru/st1.html.
10. Bavykin O.B. IDO Science. 2011. № 1. pp. 10-11.