

Основною складністю є забезпечення незалежного регулювання витрати газу і повітря в імпульсному режимі.

Загальноприйнятий підхід до синтезу не враховує узгодження подачі витрати газоповітряної суміші, зводячи його до побудови багатовимірних систем із завданням для кожного об'єкта окремо.

Для розроблюваної системи необхідно забезпечити синхронну зміну витрати газоповітряної суміші для кожної з груп пальників.

Control system of gas-air mixture electric actuators supply to the workspace chamber furnace in

power saving mode refers to regulated oscillatory systems.

The main challenge is to provide independent control of gas and air flow in impulse mode.

A common synthesis approach ignores flow gas-air mixture supply matching, reducing it to the construction of multi-dimensional operating systems for each object separately.

For the developed system is necessary to ensure a synchronous change in flow gas-air mixture for each group of burners.

Keywords: chamber furnace, burner, frequency, automatic control system, oscillatory systems.

УДК 004.67

ДЕГТЯРЕНКО И.В., к.т.н., доцент (ДонНТУ)
ГАРМАТЕНКО А.М., аспирант (ДонНТУ)

Алгоритм поиска интервалов монофрактальности в неоднородных фрактальных процессах

Введение

Фракталы – уникальные объекты, порожденные непредсказуемыми движениями окружающего нас хаотического мира. Фракталы находят все большее применение в науке. Основная причина этого заключается в том, что они «описывают» реальный мир лучше, чем традиционная физика или математика. К таким объектам относятся корневая структура растений, извилистое течение рек, береговая линия Великобритании и т.д. [1].

Все реальные природные процессы могут быть отнесены к специальному классу фракталов - «мультифракталы» [2]. Анализ мультифракталов является нетривиальной задачей и выполняется в рамках теории мультифрактального формализма [3]. Теория мультифракталов в настоящее время широко используется для описания свойств самоподобия и сложного скейлинга, наблюдаемых в физических процессах [3-10].

Мультифрактальный формализм – одно из наиболее быстро развивающихся направлений современной науки [3].

Изначально он был предложен для статистического анализа особенностей скейлинга сингулярных мер [11-13] и с успехом применяется в разных областях науки. К последним относятся сжатие изображений [14], анализ трафика телекоммуникационных сетей [4-6], прогноз разрушений земной коры [7-9] и т.д.

Основой теории мультифрактального формализма выступает модифицированный метод DFA, именуемый как мультифрактальный метод удаления тренда (в англ. лит. MF DFA) [15]. Метод MF DFA позволяет «разделить» исследуемый фрактальный процесс на интервалы, в которых проявляются следующие типы фрактальной структуры – моно- и мультифрактальный [3]. Учитывая, что большинство реальных фрактальных процессов не характеризуются однородной, привычным для искусственных фракталов, фрактальной структурой [12] во всей временной области, такое разделение становится актуальным при анализе динамики реальных процессов. Важным в решении этой задачи являются переходы во

временной области фрактальных структур из одного типа в другой. Решение этой задачи даст возможность более детально выполнить анализ изучаемых процессов: исследовать причины перехода от монофрактальной к мультифрактальной структуре, изучить влияние флуктуаций в системах со сложной динамикой.

Цель данной статьи заключается в нахождении временных интервалов с различными типами фрактальных структур в исследуемом процессе за счет разработки алгоритма поиска интервалов монофрактальности.

Основная часть

Описание метода MF DFA

В общем случае для реализации метода MF DFA требуется выполнить пять шагов. Предположим, что x_k – это набор данных длиной в N отсчетов.

Шаг 1. Определение «профиля» исходного набора данных

$$Y(i) = \sum_{k=1}^i [x_k - \langle x \rangle], i = 1, \dots, N \quad (1)$$

Шаг 2. Разделение «профиля» $Y(i)$ на $N_s \equiv \text{int}(N/s)$ неперекрывающихся между собой сегментов одинаковой длины s .

Шаг 3. Определение локального тренда y_v для каждого сегмента методом наименьших квадратов. После – определение дисперсии по формуле

$$F^2(v, s) \equiv \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(v-1)s + i] - y_v(i)\}^2, \quad (2)$$

где $y_v(i)$ – аппроксимированный полином в сегменте v .

Учитывая, что процедура определения локального тренда порядка m выполняется для «профиля», полученного в шаге 1, порядок локального тренда исходной серии будет на одно значение меньше, то есть $m-1$.

Шаг 4. Определение флуктуационной функции $F_q(s)$ q -го порядка по формуле

$$F_q(s) \equiv \left\{ \frac{1}{N_s} \sum_{v=1}^{N_s} [F^2(v, s)]^{q/2} \right\}^{1/q}, \quad (3)$$

где значение переменной q может принимать любое действительное значение. Частный случай, когда $q=2$, соответствует реализации метода DFA.

Важной особенностью метода MF DFA является то, что он дает возможность строить бесконечное количество таких флуктуационных функций $F_q(s)$ различного порядка. Это позволяет провести анализ их взаимного расположения. Информация об их размещении на плоскости дает возможность оценить (моно-) мультифрактальный характер поведения процесса.

Шаг 5. Определение характера изменения флуктуационной функции $F_q(s)$ на координатной сетке в двойных логарифмических координатах. Если набор данных x_k имеет долговременную степенную корреляционную зависимость, флуктуационная функция $F_q(s)$ на больших масштабах s возрастает по степенному закону

$$F_q(s) \sim s^{h(q)}, \quad (4)$$

где $h(q)$ – скейлинговая экспонента. В случае $h(q) = 0.5$ корреляция отсутствует а сам процесс представляет собой белый шум, при $h(q) < 0.5$ наблюдается антикоррелированный характер поведения, при $h(q) > 0.5$ – в исследуемом процессе присутствует положительная корреляция.

Для монофрактальных временных данных мультифрактальная скейлинговая экспонента $h(q)$ не зависит от q [3]. Иными словами характер изменения функции $F^2(v, s)$ одинаковый для всех сегментов v , а характер изменения флуктуационной

функции $F_q(s)$ будет одинаковой для всех значений q . Для мультифрактальных временных данных характер изменения флуктуационной функции $F_q(s)$ будет различным для всех значений q . То есть при различном масштабировании мультифрактальный процесс будет «выглядеть» по-разному, а следовательно иметь разный характер поведения с той или иной степенью фрактальности.

Мультифрактальный формализм

Важным этапом в исследовании мультифрактальных данных является обзор понятия «мультифрактальный анализ». Мультифрактальный анализ часто называют мультифрактальным формализмом, подразумевая под этим термином подход, в рамках которого строится спектр сингулярностей $f(\alpha)$ исходного процесса с использованием преобразования Лежандра [18]. Мультифрактальный спектр или спектр сингулярностей $f(\alpha)$ является другим характерным признаком оценки структуры процессов (моно- или мультифрактальной). Смысл этой функции состоит в следующем [3]. Предположим, что задано распределение меры μ на некотором множестве. Если это множество покрывать шарами диаметром ε , то мера шара с центром в точке x_i зависит от ε по степенному закону вида

$$\mu_{x_i}(\varepsilon) \sim \varepsilon^{\alpha(x_i)} \quad (5)$$

Спектр сингулярностей $f(\alpha)$ характеризует зависимость от ε числа элементов покрытия N_α , соответствующих точкам с экспонентой сингулярности, равной некоторому значению α [3]:

$$N_\alpha(\varepsilon) \sim \varepsilon^{-f(\alpha)} \quad (6)$$

В случае равномерного распределения меры на множестве (монофрактальный

характер поведения) экспонента сингулярности $\alpha = const$ и спектр сингулярностей $f(\alpha)$ представляет собой единственную точку на плоскости (α, f) . При неравномерном распределении спектр сингулярностей имеет более сложный (чаще всего колообразный) вид. Наличие неравномерного распределения меры μ на множестве является свойством мультифрактальных процессов: чем более неоднородной является мера μ , тем шире спектр сингулярностей $f(\alpha)$.

На практике вычислить функцию $f(\alpha)$, основываясь на вышесказанном, весьма проблематично из-за очень медленной сходимости при $\varepsilon \rightarrow 0$. Поэтому в теории мультифрактального формализма предпочитают использовать специальный подход, основанный на расчете обобщенных фрактальных размерностей, по которым можно вычислить спектр сингулярностей $f(\alpha)$. В рамках данного подхода вводятся в рассмотрение так называемые частичные функции (или обобщенные статистические суммы)[16,17]

$$Z(q, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} \mu_i^q(\varepsilon), \quad (7)$$

где $N(\varepsilon)$ - число элементов покрытия размером ε ;

μ_i - мера i -го элемента покрытия, $q \in R$.

Зависимость функции Z от ε носит степенной характер вида

$$Z(q, \varepsilon) \sim \varepsilon^{(q-1)D_q}, \quad (8)$$

где величины D_q представляют собой характеристики, называемые обобщенными фрактальными размерностями [18].

Обычно используется следующее обозначение:

$$\tau(q) = (q-1)D_q, \quad (9)$$

где $\tau(q)$ - скейлинговая экспонента.

Для монофракталов значения обобщенных фрактальных размерностей $D_q = const$. В общем случае мультифрактальных процессов значения D_q монотонно уменьшаются с увеличением q . Как следствие, зависимость $\tau(q)$ представляет собой прямую линию для однородных (монофрактальная структура) фрактальных мер и нелинейную функцию для неоднородных (мультифрактальная структура).

Расчет спектра сингулярностей $f(\alpha)$ на основе скейлинговых экспонент $\tau(q)$ производится с помощью преобразования Лежандра [19]

$$f(\alpha) = q\alpha - qh(q) + 1 = q(\alpha - h(q)) + 1 \quad (10)$$

Рассмотренные выше метод MF DFA и понятие «мультифрактального формализма» являются основой алгоритма поиска интервалов монофрактальности:

1. Исходный набор данных, которым описывается исследуемый процесс, разбиваем на $N - L$ перекрывающихся окон, где N - длина данных, L - длина скользящего окна.

2. Реализация метода MF DFA для участка данных, сосредоточенных в конкретном окне. Вычисление ширины экспоненты Херста и ширины спектра

сингулярностей для каждого такого участка данных.

3. Если длина скользящего окна меньше длины данных, произвести увеличение длины скользящего окна на произвольную величину (в зависимости от длины исходных данных) и повторить пункты 1-2.

Рассчитанные временные зависимости ширины экспоненты Херста и спектра сингулярностей отображаются в одной декартовой системе координат. Методика дальнейших исследований будет представлена ниже.

Исследование данных

В этой части будет показана практическая реализация алгоритма поиска интервалов монофрактальности. В качестве исходных данных выступают искусственно сгенерированные временные последовательности с монофрактальной и мультифрактальной структурами [20]. Каждая последовательность содержит по 8000 отсчетов. В нашем исследовании мы искусственно с эффектом наложения друг на друга совместим временные зависимости с различной фрактальной структурой (см. рис. 1), а именно:

- отсчеты с 1 по 8000 – монофрактальная последовательность;
- отсчеты с 7500 по 15500 – мультифрактальная последовательность;
- отсчеты с 15000 по 23000 – монофрактальная последовательность.

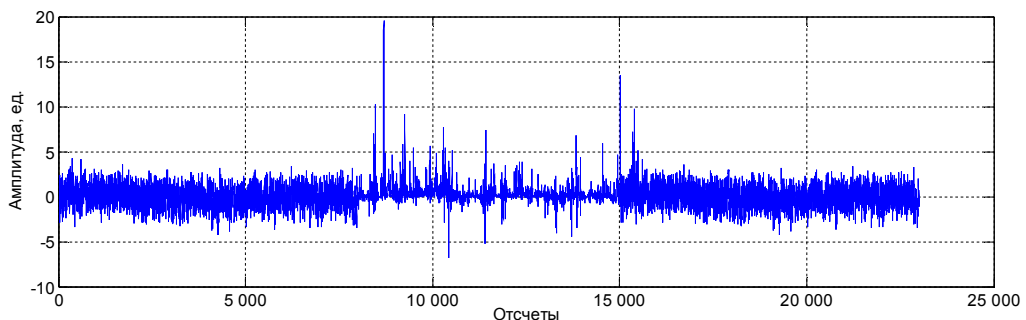


Рис. 1. Сгенерированная временная последовательность

В общем случае алгоритм состоит в расчете временной зависимости изменения ширины экспоненты Херста и расчете ширины спектра сингулярности для

каждого такого участка данных: Для нахождения зависимостей использовано скользящее окно с изменяющейся длиной для выделения временного интервала из исходного набора данных. Длина окна изменялась в пределах от 200 отсчетов до 16500 (половина от общей длины данных). Если не был достигнут конец исходных данных, окно разбивалось на сегменты, ширина которых варьировалась

(внутренний механизм метода MFDDFA), и для каждого такого окна рассчитывалась ширина экспоненты Херста и ширина спектра сингулярности (величина q , которая используется в методе MFDDFA, изменялась в пределах от -5 до 5 – для получения общей картины изменения динамики вычисляемых величин это достаточный интервал) (см. рис. 2-5).

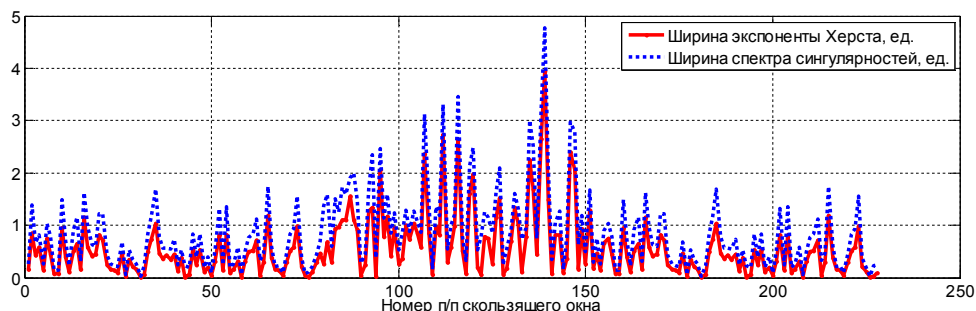


Рис. 2. График изменения ширины экспоненты Херста и спектра сингулярности, ширина окна $L = 200$ отсчетов

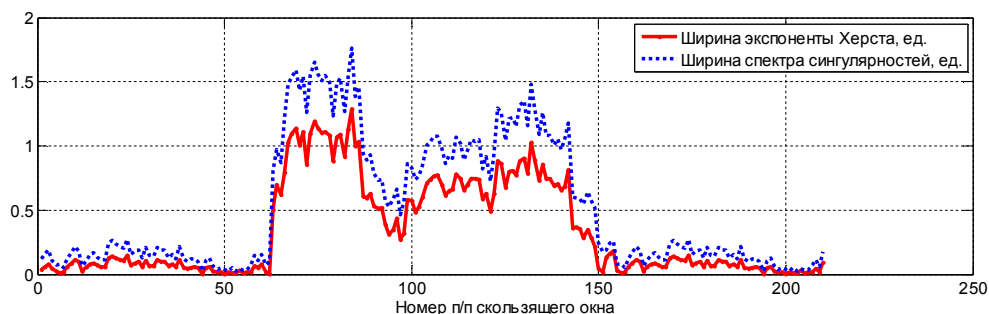


Рис. 3. График изменения ширины экспоненты Херста и спектра сингулярности, ширина окна $L = 2000$ отсчетов

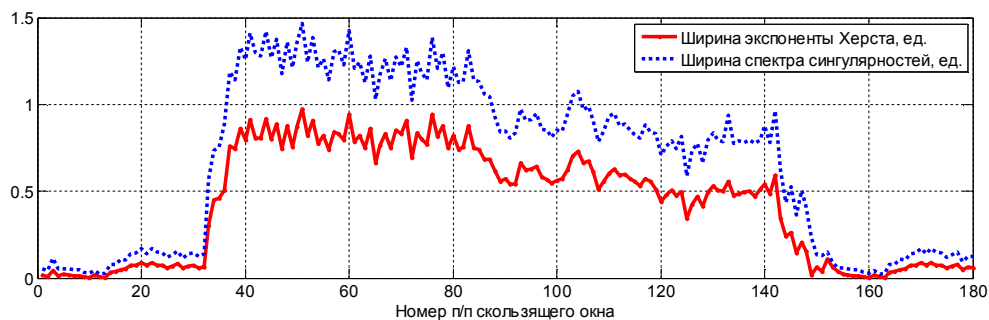


Рис. 4. График изменения ширины экспоненты Херста и спектра сингулярности, ширина окна $L = 5000$ отсчетов

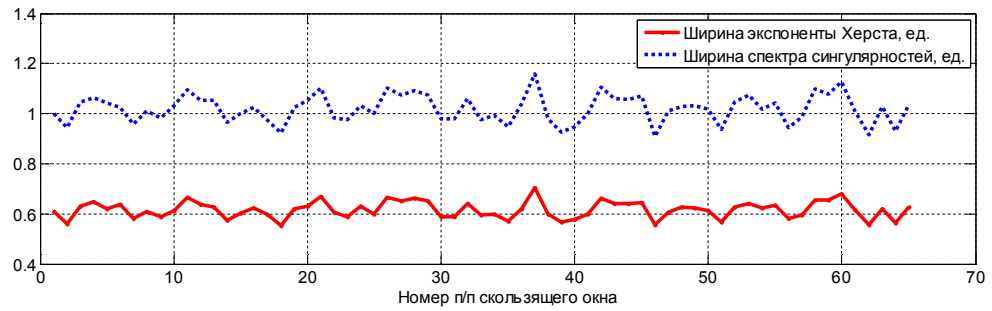


Рис. 5. Временные зависимости изменения ширины экспоненты Херста и спектра сингулярности, ширина окна $L = 16500$ отсчетам

Исследования показали, при ширине окна в 200 отсчетов (см. рис. 2) в течение всего набора данных наблюдается флуктуационное изменение как ширины экспоненты Херста, так и спектра сингулярности. Разделение структур (моно- и мульти-) в исходных данных является очень грубым и требует дальнейшего уточнения.

При ширине окна в 2000 отсчетов (см. рис. 3) можно явно выделить участки, в которых наблюдаются разные типы фрактальных структур. Следует учесть, что в программной реализации расчета экспоненты Херста и спектра сингулярности для изменения ширины окна был использован сдвиг в 100 отсчетов. Таким образом, для обратного перехода во временные интервалы исходного ряда следует воспользоваться преобразованием:

$$L_s = Np \cdot 100, \quad (11)$$

где Np - порядковый номер скользящего окна (см. рис. 2-5);

L - ширина скользящего окна;

L_s преобразованное значение порядкового номера скользящего окна в интервальные значения.

Интервалы [1:8000] и [15000:23000] сосредотачивают в себе монофрактальную структуру исходных данных, что в точности совпадает с настройками генератора.

При ширине окна в 5000 отсчетов (см. рис. 4) результаты нахождения интервалов

с монофрактальной структурой подтверждаются - интервалы [1:8200] и [15200:23000]. Однако при ширине окна в 16500 отсчетов (см. рис. 5) выделение фрактальных структур становится невозможным в силу того, что в пределах всех скользящих окон полностью сосредоточены как монофрактальные так и мультифрактальные данные.

Следует заметить, что в моменты смены фрактальных структур исследуемого процесса наблюдается резкое изменение поведения экспоненты Херста, вызванное сменой размещения флуктуационных функций $F_q(s)$ (3). Если для данных с монофрактальной структурой флуктуационные функции параллельны между собой, интервал изменения экспоненты Херста близится к нулю, а спектр сингулярности близится к идеальному в виде точки (см. рис. 6), то для данных с мультифрактальной структурой флуктуационные функции уже не обладают свойством параллельности, экспонента Херста изменяется в значительных пределах, а спектр сингулярности имеет колообразный вид (см. рис. 7).

Таким образом, определение фрактальной структуры напрямую зависит от ширины скользящего окна. Если в пределах окна в одинаковых пропорциях сосредоточены данные с обоими типами структур, эффективность алгоритма близится к нулю. В случае же точного подбора ширины окна наблюдается адекватное определение типа фрактальности.

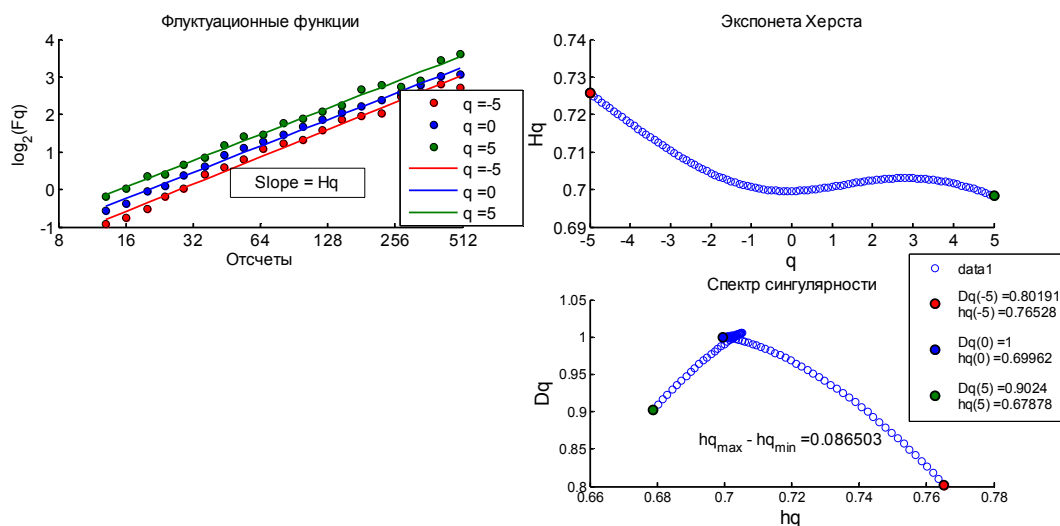


Рис. 6. Графики изменения флуктуационных функций, экспоненты Херста и спектра сингулярности для монофрактальной структуры

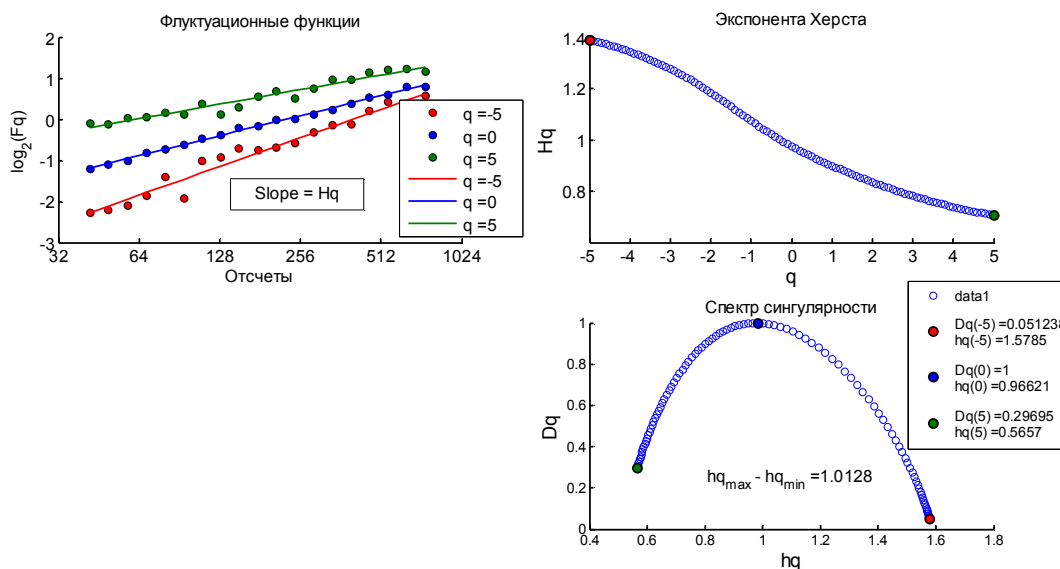


Рис. 7. Графики изменения флуктуационных функций, экспоненты Херста и спектра сингулярности для мультифрактальной структуры

Выводы

Рассмотрены вопросы определения фрактальной структуры физических процессов в рамках теории «мультифрактального формализма». Описана общая концепция определения типа фрактальности.

Предложен алгоритм поиска интервалов монофрактальности в неоднородных фрактальных процессах, основанный на методе MF DFA и теории

«мультифрактального формализма». Даны рекомендации по практическому применению данного алгоритма в исследовании фрактальных данных.

Проведена оценка адекватности работы алгоритма путем численного моделирования. Показано, что предложенный алгоритм при правильном подборе ширины скользящего окна адекватно определяет тип фрактальности с точностью 100%.

Литература:

1. Федер Е. Фракталы / Е.Федер. - пер. с англ. Ю.А. Данилова, А. Щукуров. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
2. Fallconer K.J. The geometry of fractal Sets / K.J. Fallconer. - Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1985.
3. Павлов А.Н. Мультифрактальный анализ сложных сигналов / А.Н. Павлов, В.С. Анищенко. – Саратов: Международный институт нелинейной динамики, Саратовский государственный институт им. Н.Г. Чернышевского. Том 177, №8., 2007. - С. 859-876.
4. Шелухин О.И. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. / О.И. Шелухин, А.В. Осин, С.М. Смольский. – М.:ФИЗМАЛИТ, 2008. – 368 с.
5. Дегтяренко І.В. Аналіз методів визначення параметра самоподібності трафіку телекомунікаційних мереж / І.В. Дегтяренко, А.Г. Шепеленко // Наукові праці інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. Серія: Моделювання та інформаційні технології. – Київ, 2007. – Випуск 42. – С. 68-73.
6. Воропаева В.Я. Оцінка показників якості NGN-мереж з урахуванням фрактальності вхідного трафіку / В.Я. Воропаева // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - Донецьк: ДонНТУ, 2008. – Випуск 15 (130). – С. 23-29.
7. Булат О.Ф. Фракталы в геомеханике / О.Ф. Булат, В.І. Дирда. – К.: "Наукова думка", 2005. - 356 с.
8. Дегтяренко І.В. Прогностична модель послідовностей імпульсів акустичної емісії вугільних пластів / І.В. Дегтяренко, О.М. Гарматенко // Моделювання та інформаційні технології – Київ: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, 2013. – С. 111-118.
9. Дегтяренко И.В. Идентификация параметров ARFIMA модели фрактального процесса / И.В. Дегтяренко, А.М. Гарматенко, О.А. Ярошенко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - Донецьк: ДонНТУ, 2013. – Випуск 2 (25). – С. 111-119.
10. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. Топология выборки / А.А. Потапов. - М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.
11. Benzi R. On the multifractal nature of fully developed turbulence and chaotic systems / R. Benzi, G. Paladin, G. Parisi and A. Vulpiani. - J. Phys. 1984. - V. A17. - P. 3521-3531.
12. Badii R. Conservation laws and thermodynamic formalism for dissipative systems / R. Badii // Thesis. -University of Zurich, 1987.
13. Collet P. The dimension spectrum of some dynamical systems / P. Collet, J. Lebowiz and A. Porzio. - J. Stat. Phys. 1987. - V. 47. - P. 609-644.
14. Короленко П.В. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике / П.В. Короленко, М.С. Маганова, А.В. Меснянкин // Фрактальные и мультифрактальные методы вейвлет преобразования. – М.: МГУ им. Ломоносова, 2004. – 82 с.
15. J.W. Kantelhardt, S.A. Zschiegner, E. Koscielny-Bunde, S. Havlin, A. Bunde, H. Eugene Stanley. - Physica A 316 (2002). – P. 87-114.
16. Muzy J.F., Vacry E., Arneodo A. Int. J.Bifurcat. - Chaos 4, 245 (1994).
17. Божокин С.В. Фракталы и мультифракталы / С.В. Божокин, Д.А. Паршин – Ижевск: РДХ, 2001.
18. Grassberger. - PPhys.,Lett. A 97, 227 (1983).
19. Peitgen G.O. Chaos and Fractals / G.O. Peitgen, H. Jürgens, D. Saupe. - Springer, New York, 1992 (Appendix B).
20. Ihlen Espen A.F. Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in Matlab / Espen A. F. Ihlen. – Norway: Department of Neuroscience. Norwegian University of Science and technology, 2012. – 18 p.

Аннотации:

В статье предложена реализация алгоритма поиска интервалов монофрактальности в неоднородных фрактальных процессах. Проведен анализ определения фрактальной структуры физических процессов в рамках теории

«мультифрактального формализма». Описана методика расчета экспоненты Херста и спектра сингулярности с использованием метода MFDFA. Исследована адекватность работы алгоритма.

Ключевые слова: моно- (мульти-) фрактальный процесс, интервал монофрактальности, метод MFDFA, мультифрактальный формализм, флуктуационная функция, экспонента Херста, спектр сингулярностей.

У статті запропонована реалізація алгоритму пошуку інтервалів монофрактальності в неоднорідних фрактальних процесах. Проведено аналіз визначення фрактальної структури фізичних

процесів в рамках теорії «мультифрактального формалізму». Описана методика розрахунку експоненти Херста та спектра сингулярності з використанням методу MFDFA. Досліджено адекватність роботи алгоритму.

In the article the implementation of search monofractal intervals algorithm in nonuniform fractal processes is proposed. The determination of the fractal structure of the physical processes in the framework of "multifractal formalism" is analyzed. A technique of calculating Hurst exponent and singularity spectrum by using MFDFA method is described. The adequacy of the algorithm is examined.

УДК 004.7:62-5

ЧЕРНЫШЕВ Н.Н., к.т.н., доцент (ДонНТУ)
ГАРМАТЕНКО И.А. (ДонНТУ)

Анализ применения современных беспроводных технологий для построения высокопроизводительных систем автоматизации

Беспроводная связь в промышленности

Роль органов чувств в инженерных системах выполняют датчики - от самых простейших контактных до интеллектуальных различных физических величин. Чем больше датчиков, тем больше информации и тем она полнее, а это значит, что в разы повышается качество управления. По оценкам специалистов, сбор и обмен данными в реальном времени о различных аспектах производственных процессов приведет в ближайшие годы к многократному увеличению информационных потоков между датчиками, управляющими контроллерами и системой диспетчерского управления.

Объединяют любые датчики два неперемных условия: наличие источника энергии и канала связи с центральным устройством, собирающим информацию. Это же накладывает ограничение на понятное желание проектировщика увеличить число датчиков в ключевых местах сооружения и элементах инженерных систем. Часто это невозможно

из-за необходимости прокладки километров кабельных каналов. В некоторой степени эту проблему можно решить, используя автономный источник питания и последовательные шины, но это не избавляет проектировщика от всех проблем, а заказчика от необходимости планировать затраты на монтаж кабельной инфраструктуры [1,12].

Возможность отказа от проводных сетей уже давно привлекает разработчиков и пользователей систем автоматизации. Ведь кабели могут медленно разрушаться, например, под влиянием химического воздействия и других факторов внешней среды, присутствующих в производственных помещениях. Их повторная прокладка очень трудоемка и требует больших финансовых затрат. Отказ от проводных технологий передачи данных дает следующие преимущества: быстроту и легкость развертывания, реструктуризации и масштабируемости сетей, мобильность, уменьшение расходов на прокладку кабелей связи [2,3]. Кроме того, применение беспроводных технологий позволяет развертывать сети передачи данных