

Направление: 011200 Физика
Профиль: Волновые процессы и методы их исследования
Кафедра Радиофизики
Научный руководитель: доцент В.Э. Герм
Рецензент: PhD Н.Ю. Заалов

Фрактальный анализ и моделирование флуктуаций трансионосферных сигналов *Очков Павел Николаевич*

Одним из основных источников ошибок спутниковых навигационных систем при определении местоположения объектов является ионосфера, вносящая в навигационный сигнал искажения и задержки. Основная часть групповой и фазовой задержек определяется величиной полной электронной концентрации (ПЭС) ионосферы, измеренной вдоль трассы распространения спутник-приемник. Поэтому, если величина ПЭС известна, то большая часть ошибки может быть скорректирована.

Наибольшая частота и интенсивность возмущений ионосферы наблюдается в экваториальных и полярных широтах. К неоднородностям высокоширотной ионосферы, а также аврорального овала относят полярные сияния, полярные арки, полярные «патчи». Патчами (от англ. patch - заплатка) называют области F-слоя ионосферы, размером 100-1000 км, с повышенной концентрацией электронов (обычно, в 1,5-2 раза больше фоновой), которые передвигаются со скоростями порядка 1 км/с. При наличии в ионосфере патчей, пересекающих трассу распространения сигнала, зависимость ПЭС от времени обнаруживает характерные вариации, имеющие характер случайного процесса.

Для количественного описания характеристик случайных процессов традиционно используется спектральный подход, при котором стохастический процесс характеризуется частотным спектром мощности. Альтернативой являются фрактальный и мультифрактальный методы анализа, которые применимы в том числе и к статистически нестационарным процессам.

В данной работе проведен мультифрактальный анализ временных вариаций ПЭС в полярной ионосфере. Для анализа используются данные двухчастотных измерений трансионосферных сигналов спутников системы GPS, регистрируемые приемниками сети наблюдательных станций международной службы IGS. Обработка данных позволяет получить зависимости ПЭС от времени для всех спутников, наблюдаемых на данной станции.

Существует несколько методов мультифрактального анализа. Например, метод структурных функций, метод DFA (Detrended Fluctuation Analysis), метод максимумов модулей вейвлет-преобразования и метод вейвлет лидеров (Wavelet leader method). Ознакомившись с вышеперечисленными методами нами было принято решение для анализа данных использовать метод вейвлет лидеров. К плюсам данного метода можно отнести отсутствие необходимости детрендрования исходных данных, так как вейвлеты не чувствительны к тренду.

Суть метода вейвлет лидеров в следующем: после вейвлет-преобразования сигнал оказывается разложен на вейвлет-коэффициенты разных уровней, которые представлены в виде матрицы. После чего происходит анализ этой матрицы, таким образом, что на каждом уровне анализируется набор: коэффициент и его соседи (справа и слева). Из них выбирается

наибольший. Таким образом получается набор наибольших коэффициентов – лидеров, для каждого уровня вейвлет-разложения. Далее следует стандартная процедура мультифрактального анализа: нахождение обобщенных структурных функций сигнала, нахождение скейлинговой экспоненты структурных функций $\tau(q)$, по которой находится спектр сингулярностей (функция мультифрактального спектра) $D(h) = qh(q) - \tau(q)$, где $h = \frac{d\tau}{dq}$ – локальный параметр Херста (показатель Гельдера). Знание $\tau(q)$ позволяет представить её в виде ряда по степеням q с коэффициентами C_p . А именно C_1 характеризует положение максимума $D(h)$, C_2 характеризует её ширину, а C_3 асимметричность. Таким образом триплет (C_1, C_2, C_3) содержит основную часть мультифрактальной информации, полученную из реальных данных.

Для проверки достоверности метода было произведено его тестирование с помощью синтетически полученного сигнала с известным мультифрактальным спектром. Алгоритм генерации построен на основе случайных каскадов на бинарном дереве вейвлет коэффициентов.

Тестирование метода вейвлет лидеров показало, что результаты полученные методом близки к теоретическим.

Данным методом обработан обширный объем данных ПЭС, и получены C_1, C_2, C_3 содержащие мультифрактальную информацию об исследуемых сигналах.

Дальнейшая обработка была направлена на выявление возможных статистических зависимостей между полученными оценками параметров спектра и значениями планетарного геомагнитного индекса K_p , характеризующего возмущённость геомагнитного поля. На основе анализа данных была выявлена статистическая зависимость между значениями параметра c_2 и индекса K_p , состоящая в увеличении c_2 при росте K_p , т.е. в магнитовозмущённые дни ($K_p \geq 4$) наблюдались большие ширины мультифрактальных спектров, чем в дни, когда магнитная обстановка была спокойная ($K_p \leq 2$). В работе подробно представлены статистические результаты исследований мультифрактальных характеристик вариаций полярного ПЭС за период 2007 – 2012 годы.

Список публикаций:

1. Очиков П.Н. Мультифрактальный анализ флуктуаций трансферных сигналов и моделирование стохастических процессов с заданными мультифрактальными характеристиками // XVII Всероссийская научная конференция студентов-радиофизиков: Тез.докл. – СПб.: Изд-во «Сокол», 2014. – стр. 82 – 84.