

А. А. Потапов (Москва, ИРЭ РАН). **Можно ли построить фрактальную радиосистему?**

1. В настоящее время очевидно, что применение идей масштабной инвариантности «скейлинга» и разделов современного функционального анализа, которые связаны с теорией множеств, теорией дробной размерности, общей топологией, геометрической теорией меры и теорией динамических систем, открывают большие потенциальные возможности и новые перспективы в обработке многомерных сигналов и в родственных научных и технических областях [1–4]. Другими словами, полное описание процессов обработки сигналов/полей невозможно с помощью формул классической математики. Цель доклада, представленного данным сообщением, — подробное изложение «фрактальной техники вычислений» и «фрактального языка» для разнообразных физических и прикладных задач.

Большое значение приобретает аналогия между современными задачами радиофизики и радиоэлектроники и теорией фазовых переходов и критических явлений. Автору удалось разработать аналогичный подход для решения радиотехнических и радиофизических задач. Основные принципы данного направления разрабатываются автором, начиная с 80-х гг. XX в., и вначале касались фильтрации сверхслабых радиосигналов и изображений при негауссовских помехах. Затем стало ясным, что такой «фрактальный» подход пригоден и для других задач. Одновременно эти результаты открыли новые выходы этих направлений в классическую радиофизику и радиоэлектронику и показали перспективы современных больших применений. Отметим, что по данному направлению выпущено несколько монографий и более 200 работ.

2. Эволюция взглядов и развитие в ИРЭ РАН «фрактальной идеологии» исследований показана на рис. 1 [1–4]. При таком «фрактальном» подходе естественно сосредоточить внимание на описании и обработке сигналов/полей исключительно в пространстве дробной меры с применением гипотезы скейлинга и универсальных распределений с «тяжелыми хвостами» (устойчивых распределений).

Одно из основных приложений теории фракталов — обработка одномерных и многомерных сигналов при малых отношениях сигнал/помеха (рис. 2). Разрабатываемые фрактальные методы позволяют преодолевать априорную неопределенность с помощью информации о геометрии/топологии выборки — одномерной или многомерной. В докладе приведены характеристики экспериментально отработанных в ИРЭ РАН методов измерения *фрактальных сигнатур* и *фрактальных кепстров* одномерных и многомерных сигналов.

В докладе также рассмотрены примеры создания новых динамических моделей рассеяния электромагнитных волн земными покровами. Обработка радиолокационных сигналов на длине волны 2,2 мм позволила определить характеристики странного аттрактора в фазовом пространстве, управляющего рассеянием радиоволн. Были определены нижняя граница энтропии Колмогорова и время предсказания хаотической системы, которое в несколько раз превышает времена корреляции рассматриваемых процессов.

3. Создание первого эталонного словаря фрактальных признаков классов целей и усовершенствование алгоритмического обеспечения явились основными этапами при разработке первого в мире фрактального непараметрического обнаружителя радиосигналов в виде спецпроцессора. В докладе представлены результаты анализа электродинамических свойств фрактальных антенн на основе алгоритмов численного решения гиперсингулярных интегральных уравнений. Анализ проведен для фрактальных антенн с изменяющимся углом раствора. Приведены результаты вычисления входного импеданса в диапазоне частот 0,1–10,0 ГГц, определены все резонансные частоты исследуемых фрактальных антенн и фрактальных частотно-избирательных поверхностей (ЧИП). В отличие от традиционных методов, когда синтезируются гладкие диаграммы направленности антенны, в основе теории фрактального синтеза

заложена идея реализации характеристик излучения с повторяющейся структурой на произвольных масштабах. Это дает возможность создавать новые режимы во фрактальной электродинамике, а также получать принципиально новые свойства.

4. Физическое моделирование дробных операторов позволяет на основе нанотехнологий создавать радиоэлементы на пассивных элементах, моделирующие фрактальные импедансы $Z(\omega)$ с частотным скейлингом $Z(\omega) \equiv A(j\omega)^{-\eta}$, где $0 \leq \eta \leq 1$, $A = \text{const}$, ω — угловая частота. При этом впервые реализуем на практике нелинейный «фрактальный конденсатор». На основе наноматериалов также можно создать планарные и объемные наноструктуры, моделирующие рассмотренные выше «фрактальные» радиоэлементы и радиоустройства микроэлектроники, т. е. речь идет о построении элементной базы нового поколения на основе фрактальных эффектов и свойств.

Результаты показывают, что аналогичные подходы могут быть распространены на широкий класс электродинамических задач при исследовании фрактальных кристаллов, метаматериалов, фрактальных поглощающих покрытий, фрактальных резонаторов, фрактальных экранов и заграждений, а также других фрактальных «умных» или «интеллектуальных» материалов и покрытий, которые необходимы для реализации предложенных фрактальных радиоэлементов и фрактальных радиосистем.



Рис. 1. Эскиз развития новых информационных технологий в ИРЭ РАН



Рис. 2. Методы обработки малоконтрастных изображений и сверхслабых сигналов

5. Таким образом, основываясь на полученных результатах, мы можем говорить о проектировании фрактальных элементов и фрактальных радиосистем, т. е. дать положительный ответ на поставленный в заголовке вопрос! Предложенные автором фрактальные радиосистемы включают в себя фрактальные антенны и фрактальные обнаружители, основаны на фрактальных методах обработки информации и могут использовать фрактальные методы модуляции и демодуляции сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Потапов А.А.* Фракталы в радиофизике и радиолокации. М.: Логос, 2002, 664 с.
2. *Потапов А.А.* Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. М.: Университетская книга, 2005, 848 с.
3. *Потапов А.А.* Фракталы и хаос как основа новых прорывных технологий в современных радиосистемах. — В кн.: Р. Кроновер Фракталы и хаос в динамических системах. М.: Техносфера, 2006, с. 374–479.
4. *Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Герман В.А.* Новейшие методы обработки изображений. / Под ред. А.А. Потапова. М.: Физматлит, 2007. (В печати).