

# Физика волновых процессов и радиотехнические системы

УДК 537.86 + 621.396.96  
DOI 10.18469/1810-3189.2019.22.4.82-85

Дата поступления: 08.11.2019  
Дата принятия: 04.12.2019

## Фракталы в радиолокации и радиофизике: 40 лет научных исследований

А.А. Потапов

Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН  
125009, Российская Федерация, г. Москва  
ул. Моховая, 11, корп. 7

В данной статье представлен обзор основных научных результатов по созданию новых информационных технологий на основе текстур, фракталов, дробных операторов и нелинейных динамических методов. Исследования проводятся в рамках научного направления «Фрактальная радиофизика и фрактальная радиоэлектроника: проектирование фрактальных радиосистем», которое разрабатывается автором с 1979 г. и по настоящее время. Показано, что впервые в мире были предложены, а затем и применены новые размерностные и топологические (а не энергетические!) признаки или инварианты, которые объединены под обобщенным понятием «топология выборки» ~ «фрактальная сигнатура». Предложены текстурные и фрактально-скейлинговые (топологические) методы обнаружения сверхслабых сигналов и полей в интенсивных шумах и помехах. Открыт, предложен и развит новый вид и новый метод современной радиолокации, а именно фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация, что влечет за собой коренные изменения в самой структуре теоретической радиолокации, а также в ее математическом аппарате. Разработаны постулаты фрактальной радиолокации: 1 – интеллектуальная обработка сигнала/изображения, основанная на теории дробной меры и скейлинговых эффектов, для расчета поля фрактальных размерностей  $D$ ; 2 – выборка принимаемого сигнала в шумах относится к классу устойчивых негауссовых распределений вероятностей  $D$  сигнала; 3 – максимум топологии при минимуме энергии входного случайного сигнала (т. е. максимальный «уход» от энергии принимаемого сигнала). Данные постулаты открывают новые возможности для обеспечения устойчивой работы при малых отношениях сигнал / (шум + помеха) или увеличения дальности действия радиолокаторов. Выполненные исследования являются приоритетными в мире и служат базой для дальнейшего развития и обоснования практического применения фрактально-скейлинговых и текстурных методов в современной радиофизике, радиоэлектронных системах и нанотехнологиях, а также в создании принципиально новых и более точных фрактально-текстурных (топологических) методов обнаружения и измерения параметров радиосигналов в пространственно-временном радиолокационном канале распространения электромагнитных волн с рассеянием.

**Ключевые слова:** радиолокация, нелинейная динамика, сверхслабые сигналы, фрактал, дробные операторы, текстуры, фрактальная электродинамика, фрактальные антенны, масштабирующие эффекты, новые информационные технологии.

В статье представлены избранные фундаментальные теоретические и экспериментальные результаты, полученные за 40 лет работы автора (1979–2019 гг.) в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН по планомерному внедрению теории фракталов, текстур, детерминированного хаоса, операторов дробного интегрирования и эффектов скейлинга в радиофизику и широкий спектр радиотехнических наук [1; 2].

Исследования проводятся в рамках научного направления «Фрактальная радиофизика и фрактальная радиоэлектроника: проектирование фрактальных радиосистем», впервые предложенного и разрабатываемого автором. Актуальность проведения данных исследований связана с необходимостью более точного описания реальных процессов, происходящих в радиофизических и радиотехнических системах. Это прежде всего учет эрдитарности, негауссовости и скейлинга реальных физических сигналов и полей. Все эти

понятия входят в определение фрактальных множеств или фракталов, впервые предложенных в 1975 г. Б. Мандельбротом.

Введение в научный обиход радиотехники и радиолокации вышеупомянутых понятий позволило автору впервые в мире предложить, а затем и применить новые *размерностные* и *топологические* (а не энергетические!) признаки или инварианты [1; 2], которые объединены под обобщенным понятием «топология выборки» ~ «фрактальная сигнатура». Доказана эффективность новых функционалов, предложенных автором, которые определяется топологией, дробной размерностью и текстурой принятого многомерного сигнала (рис. 1), для синтеза принципиально новых неэнергетических (!) обнаружителей мало контрастных объектов на фоне помех.

Эволюция взглядов автора и развитие на данный момент в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН



Рис. 1. Новые топологические признаки и методы обнаружения малококонтрастных объектов на фоне помех (ТП – текстурные признаки, ЧФК – частотная функция когерентности)

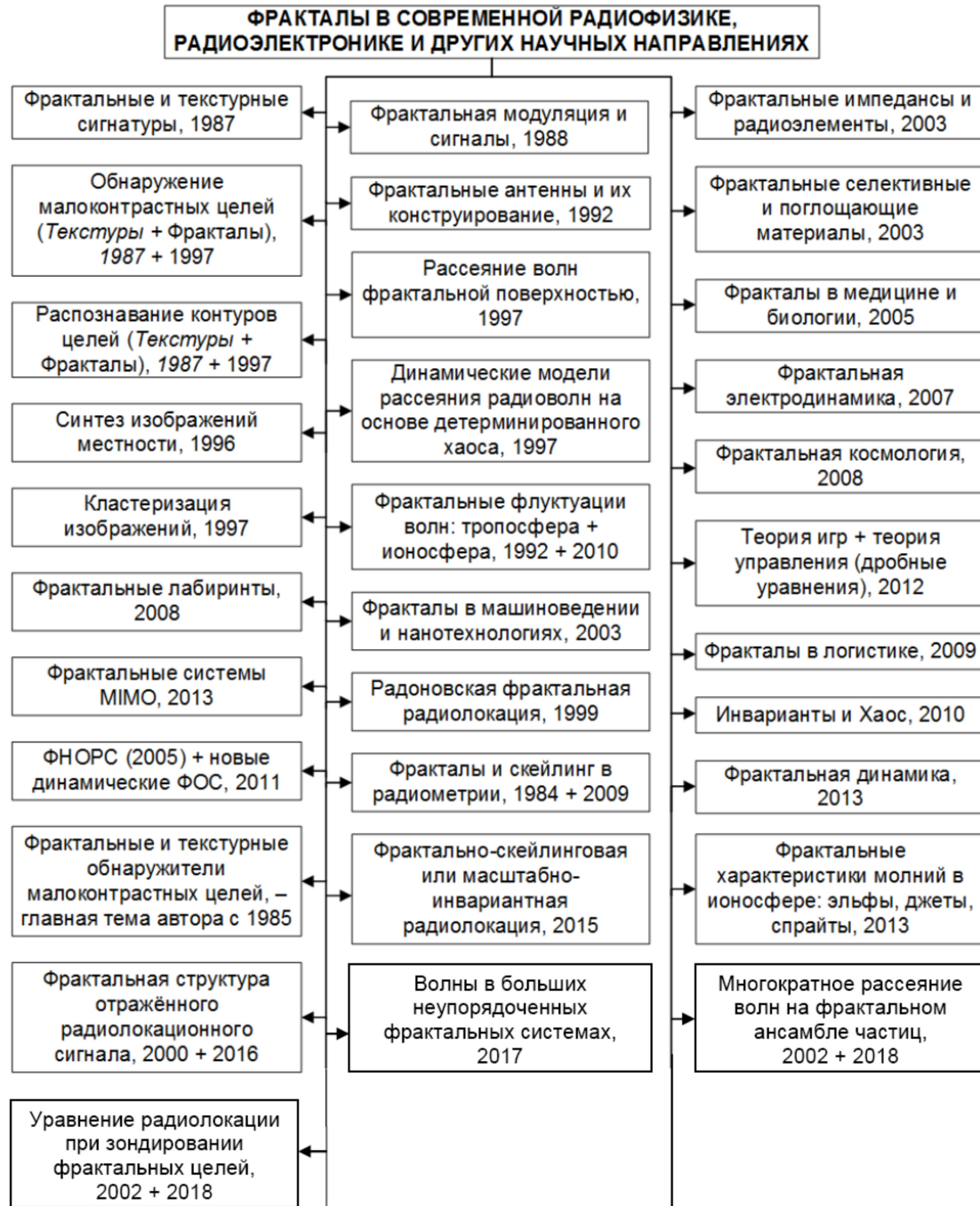
широкого спектра фрактальных исследований [1; 2] схематически показано на рис. 2.

Фрактальная радиолокация [1; 2] базируется на трех постулатах: 1 – интеллектуальная обработка сигнала / изображения, основанная на теории дробной меры и скейлинговых эффектов, для расчета поля фрактальных размерностей; 2 – выборка принимаемого сигнала в шумах относится к классу устойчивых негауссовых распределений вероятностей фрактальной размерности  $D$  сигнала; 3 – максимум топологии при минимуме энергии входного случайного сигнала.

Применение фрактальных систем и узлов является принципиально новым авторским решением,

существенно меняющим принципы построения радиотехнических систем, устройств и датчиков. Фрактальные методы обработки дают повышение качества и детализации объектов и целей примерно в несколько раз. Фрактальная геометрия – громадная и гениальная заслуга Б. Мандельброта (1924–2010). Но ее радиофизическое и радиотехническое (практическое) воплощение – это заслуга известной в мире Российской научной школы фрактальных методов под руководством профессора А.А. Потапова.

Выполненные исследования, результаты которых частично представлены в статье, являются приоритетными в мире и служат базой для даль-



**Рис. 2.** Развитие прорывных технологий на основе фракталов, дробных операторов и эффектов скейлинга для задач радиоэлектроники (ФНОРС – фрактальный непараметрический обнаружитель радиолокационных сигналов, ФОС – фрактальный обнаружитель сигналов)

нейшего развития и обоснования практического применения фрактально-скейлинговых и текстурных методов в современной радиофизике, радиолокации и нанотехнологиях, а также в совершенствовании принципиально новых и более точных фрактально-текстурных (топологических) методов обнаружения и измерения параметров сигналов в пространственно-временном канале с интенсивными негауссовскими (реальными) помехами.

Коренное отличие предложенных текстурно-фрактальных методов от классических связано с

принципиально иным подходом к основным составляющим сигнала и поля. Это позволило перейти на новый уровень информационной структуры реальных немарковских сигналов и полей. Таким образом, это *принципиально новая* радиотехника.

Авторский приоритет в этой области за 40 лет закреплен более чем 1050 научными работами и 38 отечественными и зарубежными монографиями и отдельными главами в них на русском и английском языках [2]. Внедрение фракталов, эффектов скейлинга и дробных операторов дает «им-

пульс» современной радиоэлектронике, так как вся она базируется исключительно (и только!) на основе теории целочисленных функций.

Работа выполнена в рамках государственного задания и в целом была поддержана Международным научно-техническим центром (проект № 0847.2,

2000–2005 гг., США), Российским фондом фундаментальных исследований (проекты № 05-07-90349, 07-07-07005, 07-07-12054, 07-08-00637, 11-07-00203, 18-08-01356-а), а также проектом «Leading Talents» (№ 00201502, 2016–2020 гг.) в Джинанском университете (Гуанджоу, Китай).

### Список литературы

1. Гуляев Ю.В., Потапов А.А. Применение теории фракталов, дробных операторов, текстур, эффектов скейлинга и методов нелинейной динамики в синтезе новых информационных технологий для задач радиоэлектроники (в частности, радиолокации) // Радиотехника электроника. 2019. Т. 64. № 9. С. 839–854.
2. Профессор Александр Алексеевич Потапов. Библиографический указатель / под ред. акад. Ю.В. Гуляева. М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2019. 256 с.

### References

1. Guljaev Ju.V., Potapov A.A. Application of the theory of fractals, fractional operators, textures, scaling effects and methods of non-linear dynamics in the synthesis of new information technologies for the electronics tasks (eg. radar). *Radiotekhnika elektronika*, 2019, vol. 64, no. 9, pp. 839–854. [In Russian].
2. *Professor Alexander A. Potapov. Bibliographic Index*. Ed. by Ju.V. Guljaev. Moscow: ООО «Tsentr poligraficheskikh uslug «Raduga», 2019, 256 p. [In Russian].

UDC 537.86 + 621.396.96

DOI 10.18469/1810-3189.2019.22.4.82-85

Received: 08.11.2019

Accepted: 04.12.2019

## Fractals in radar and radio physics: 40 years of research experience

A.A. Potapov

Institute of Radio Engineering and Electronics named after V.A. Kotelnikov RAS  
11-7, Mokhovaya Street  
Moscow, 125009, Russian Federation

A review of the main scientific results on creation of new information technologies on the basis of textures, fractals, fractional operators and non-linear dynamic methods which were obtained by the author has been presented in this work. The researchers are conducted in the framework of scientific direction «Fractal radio physics and fractal radio electronics: designing of fractal radio systems» which is being developed by the author starting from 1979 and up to the present. It is shown that new dimensional and topological (not energy!) signs or invariants that are combined under the generalized concept of «Sampling topology» ~ «Fractal signature» were proposed for the first time and then applied. Texture and fractal-scaling (topological) methods for detecting superweak signals and fields in intense noise and interferences are proposed. A new type and a new method of modern radiolocation, namely, fractal-scaling or scale-invariant radiolocation was proposed, discovered, and developed. This entails fundamental changes in the structure of theoretical radiolocation, as well as in its mathematical apparatus. The fractal radiolocation postulates were developed: (1) intelligent signal/image processing based on the theory of fractional measures and scaling effects for calculating the field of fractal dimensions  $D$ , (2) the sample of the received signal in noise belongs to the class of stable non-Gaussian probability distributions of the  $D$  signal, and (3) the topology maximum with the minimal energy of the input random signal (i.e., the maximal «escape» from the energy of the received signal). These postulates open new possibilities for ensuring stable operation at a small signal/(noise + interference) ratio or an increase in the radar range. These studies are priorities in the world and serve as a basis for the further development and substantiation of the practical application of fractal-scaling and texture methods in modern radiophysics, radio-electronic systems, and nanotechnology, as well as in the creation of fundamentally new and more accurate fractal-texture (topological) methods for detecting and measuring the parameters of radio signals in the space-time radar channel for electromagnetic wave propagation with scattering.

**Keywords:** radiolocation, nonlinear dynamics, superweak signals, fractal, fractional operators, textures, fractal electrodynamics, fractal antennas, scaling effects, new information technologies.

**Потапов Александр Алексеевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик Российской академии инженерных наук им. А.М. Прохорова и Российской академии естественных наук, президент совместной китайско-российской лаборатории информационных технологий и фрактальной обработки сигналов (Китай, г. Гуанчжоу), главный научный сотрудник Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Область научных интересов: радиофизика, рассеяние и дифракция электромагнитных волн, радиолокация, распознавание

и обработка сигналов и изображений, фрактальная электродинамика, фрактальные антенны, детерминированный хаос, современная топология, фрактальный анализ, дробные операторы, эффекты скейлинга.

*E-mail:* potapov@cplire.ru