МАТЕМАТИКА

УДК 537.86 + 621.37 + 621.396

DOI: 10.21779/2542-0321-2019-34-4-42–52

А.А. Потапов

Фрактальные и текстурные немарковские эредитарные процессы и их радиофизические приложения: опыт 40-летних исследований

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук; Россия, 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп. 7; potapov@cplire.ru

В статье представлен обзор полученных автором основных научных результатов по созданию новых информационных технологий на основе текстур, фракталов, дробных операторов и методов нелинейной динамики. Исследования проводились в рамках научного направления «Фрактальная радиофизика и фрактальная радиоэлектроника: проектирование фрактальных радиосистем», разрабатываемого автором с 1979 года по настоящее время.

Ключевые слова: *радиофизика, радиолокация, нелинейная динамика, фрактал, дробный оператор, немарковский случайный процесс.*

Введение

В статье рассматриваются основные направления внедрения текстур, фракталов, дробных операторов, динамического хаоса и методов нелинейной динамики для создания новых информационных технологий. Исследования проводились в фундаментальном научном направлении «Фрактальная радиофизика и фрактальная радиоэлектроника: проектирование фрактальных радиосистем», инициированного и разрабатываемого автором в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН с 1979 года по настоящее время. Проведение данных исследований необходимо для более точного описания реальных процессов, происходящих в радиофизических и радиотехнических системах. Это прежде всего учет эредитарности (памяти), негассовости и скейлинга (самоподобия, автомодельности) физических сигналов и полей. Все эти понятия входят в определение фракталов, впервые предложенных Б. Мандельбротом в 1975 году [1].

Теоретические основы созданных фрактально-скейлинговых методов

При фрактально-скейлинговом подходе описание и обработка сигналов и полей проводятся исключительно в пространстве дробной меры с применением гипотез скейлинга, негауссовских устойчивых распределений с тяжелыми хвостами и по возможности с применением аппарата дробных интегропроизводных. Наличие в уравнениях дробной производной по времени интерпретируется как наличие памяти, а в случае стохастического процесса – немарковости.

Основным свойством фракталов является нецелое значение их размерности D . Понятие меры и размерности Хаусдорфа [2] определяется p -мерной мерой с произвольным вещественным положительным числом p . Её ввел Хаусдорф в 1919 г. Понятия, введенные Хаусдорфом, основываются на конструкции Каратеодори (1914 г.). Размерность Хаусдорфа $\dim_H A$ определяется через хаусдорфову α -меру $mes_H \alpha$ множества в виде

$$mes_{H,\alpha} = \liminf_{\varepsilon \rightarrow 0} \sum_{\Gamma(A)} [d(U)]^\alpha, \quad (1)$$

где нижняя грань $\inf$ берется по конечным или счетным покрытиям Γ множества A шарами U , диаметр которых $d(U) < \varepsilon$.

Размерность $\dim_H A$ определяется как такое число α_0 , что мера (1) при $\alpha > \alpha_0$ равна нулю, а при $\alpha < \alpha_0$ – бесконечности.

В основе современной теории вероятностей лежат предельные теоремы о сходимости распределений сумм независимых случайных величин к так называемым устойчивым распределениям: гауссовским или негауссовским. Первые опираются на центральную предельную теорему, а вторые (негауссовские) – на предельную теорему, доказанную Б.В. Гнеденко (1939 г.) и В. Дёблин (1940 г.) [3]. Для того чтобы закон распределения $F(x)$ принадлежал области притяжения устойчивого закона с характеристическим показателем α ($0 < \alpha < 2$), отличным от гауссовского, необходимо и достаточно, чтобы

$$1) \frac{F(-x)}{1-F(x)} \rightarrow \frac{c_1}{c_2} \text{ при } x \rightarrow \infty, \quad (2)$$

$$2) \frac{1-F(x)+F(-x)}{1-F(kx)+F(-kx)} \rightarrow k^\alpha \text{ при } x \rightarrow \infty, \quad (3)$$

где коэффициенты $c_1 \geq 0$, $c_2 \geq 0$, $c_1 + c_2 > 0$, $0 < \alpha < 2$, $k > 0$.

Для доказательства (2) и (3) необходимо и достаточно, чтобы при некотором подборе постоянных B_n выполнялись условия [3, с. 189]:

$$nF(B_n x) \rightarrow \frac{c_1}{|x|^\alpha} \quad (x < 0), \quad n[1-F(B_n x)] \rightarrow \frac{c_2}{x^\alpha} \quad (x > 0),$$

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} n \left\{ \int_{|x| < \varepsilon} x^2 dF(B_n x) - \left[\int_{|x| < \varepsilon} x dF(B_n x) \right]^2 \right\} = 0. \quad (4)$$

Чем меньше величина α , тем длиннее хвост распределения и тем более оно отличается от гауссовского. При $1 < \alpha < 2$ устойчивые законы имеют математическое ожидание; при $0 < \alpha \leq 1$ устойчивые законы не имеют ни дисперсий, ни математических ожиданий. Условиями (2)–(4) определяется так называемая *негауссовская статистика*.

В обычной статистике флуктуации стремятся к нулю, когда размер выборки или число слагаемых N возрастает. Это гарантирует асимптотически точную повторяемость средних значений и является источником традиционных успехов классических статистических методов в радиолокации. Для статистики Леви ситуация может отличаться радикально. При увеличении размера выборки точность статистических оценок не улучшается! Стандартная форма центральной предельной теоремы предсказывает исчезновение флуктуаций при больших N , а из обобщенной центральной предельной теоремы (при $\alpha < 1$) следует, что флуктуации существенны при сколь угодно больших N . Одновременно при $\alpha < 1$ наблюдается случай глобальной неэргодичности процессов.

Нецелые значения показателя α в диапазоне $1 < \alpha \leq 2$ соответствуют обобщенному броуновскому движению с долговременными корреляциями и статистическим самоподобием, т. е. фрактальному процессу. Математическим выражением самоподобия являются степенные законы. Фрактальная размерность пространства вероятностей временного ряда равна показателю α :

$$\alpha = 1/H, \quad (5)$$

где H – показатель Херста. Необходимо различать «обычную» фрактальную размерность D исследуемого сигнала или изображения и фрактальную размерность, определяемую показателем α . Если D характеризует «изломанность» объектов, то α характеризует толщину хвостов распределений [1, 4, 5].

В ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН были разработаны различные оригинальные методы измерения фрактальной размерности D [4, 5]. Локально-дисперсионный метод измерений фрактальной размерности D основан на измерении дисперсии интенсивности/яркости σ_i^2 фрагментов оптического или радиолокационного изображения на двух пространственных масштабах δ_i^2 :

$$D \approx \frac{\ln \sigma_2^2 - \ln \sigma_1^2}{\ln \delta_2 - \ln \delta_1}, i = 1 \text{ или } 2. \quad (6)$$

Фрактальная размерность D или ее сигнатура $D(t, f, \vec{r})$ в различных участках изображения поверхности является мерой текстуры. Фрактальные методы могут функционировать на всех уровнях сигнала: амплитудном, частотном, фазовом и поляризационном.

Дробный математический анализ имеет давнюю историю и чрезвычайно богатое содержание [4, 6–8]. В настоящее время наиболее часто используется выражение дробной производной D_{at}^α в форме, предложенной Риманом и Лиувиллем ($_{RL}D_{at}^\alpha$). Оператор интегриродифференцирования по Риману–Лиувиллю дробного порядка $\alpha \in R$ с началом в точке a определяется следующим образом [4, 6–8]:

$$_{RL}D_{at}^\alpha f(t) = \frac{\text{sign}(t-a)}{\Gamma(-\alpha)} \int_a^t \frac{f(\tau)}{|t-\tau|^{\alpha+1}} d\tau, \alpha < 0, \quad (7)$$

$$_{RL}D_{at}^\alpha = f(t), \alpha = 0, \quad (8)$$

$$_{RL}D_{at}^\alpha = \text{sign}^n(t-a) \frac{d^n}{dt^n} D_{at}^{\alpha-n} f(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \frac{d^n}{dt^n} \int_a^t (t-\tau)^{n-\alpha-1} f(\tau) d\tau. \quad (9)$$

Здесь $n-1 < \alpha \leq n$, $n \in N$; $\text{sign}(z)$ определяется равенствами $\text{sign} 0 = 0$, $\text{sign} z = z/|z|$, ($z \neq 0$); $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция. Для дифференцируемых на отрезке $[a, b]$ функций определения дробных производных по Риману–Лиувиллю и Летникову эквивалентны. В настоящее время достаточно широко используется формулировка Капуто [4, 6–8]:

$$_CD_{at}^\alpha f(t) = \text{sign}^n(t-a) _{RL}D_{at}^{\alpha-n} f^{(n)}(t), n-1 < \alpha \leq n, n \in N. \quad (10)$$

Производные Римана–Лиувилля и Капуто связаны соотношением:

$$_CD_{at}^\alpha f(t) = _{RL}D_{at}^\alpha f(t) - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{f^{(k)}(\tau)}{\Gamma(k-\alpha+1)} |t-\tau|^{k-\alpha}, n-1 < \alpha \leq n, n \in N. \quad (11)$$

В случае $\alpha = n$ получаем

$$_{RL}D_{at}^n f(t) = _CD_{at}^n f(t) = \text{sign}^n(t-a) \frac{d^n}{dt^n} f(t), n \in N. \quad (12)$$

Производная Капуто имеет ту же самую физическую интерпретацию, что и производная Римана–Лиувилля. В частности, при $f(0) = 0$ и $0 < \alpha < 1$ имеем точное равенство

$$_CD_{0t}^\alpha f(t) = _{RL}D_{0t}^\alpha f(t). \quad (13)$$

Для расчета производной Римана–Лиувилля необходимо знание значений функции, а для производной Капуто – ее производных, что намного сложнее. Некоторое достоинство производной Капуто: она равна нулю для постоянной функции, что более привычно для исследователя.

Современная концепция на основе фракталов, скейлинга и дробных операторов

Эволюция взглядов автора и развитие на данный момент в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН «фрактальной идеологии» исследований показана на рис. 1 и 2; там же приведены сведения о моменте их развертывания [4, 5, 9–16]. На рис. 1 аббревиатуры: ФНОРС – фрактальный непараметрический обнаружитель радиолокационных сигналов, ФОС – фрактальный обнаружитель сигналов.

Рис. 1. Эскиз развития прорывных технологий на основе фракталов, дробных операторов и эффектов скейлинга для нелинейной физики

Рис. 2. Авторская концепция фрактальных радиосистем, датчиков, устройств и радиоэлементов

Текстурная и фрактальная обработка слабых многомерных сигналов в интенсивных негауссовских помехах и шумах

Разработанная автором классификация фракталов была в декабре 2005 г. в США одобрена и принята Б. Мандельбротом; она приведена на рис. 3, где D_0 – топологическая размерность пространства, в котором рассматривается фрактал с дробной размерностью D .

Рис. 3. Авторская классификация фрактальных множеств и сигнатур, одобренная и принятая Б. Мандельбротом

Весьма плодотворным оказалось введение автором в практику измерений понятий *фрактальных сигнатур* и *фрактальных кепстров*. Фрактальные сигнатуры и фрактальные кепстры отражают свойство самоподобия реальных сигналов и электромагнитных полей. При этом большое значение приобретают *топологические особенности выборки*, а не усредненные реализации, имеющие зачастую другой характер. Для того чтобы акцентировать внимание на учете этих особенностей, автор ввел термин *размерностный склероз* сигналов, полей и их фрактальных сигнатур. При описании немарковских процессов для раскрытия физического смысла дробных производных используется термин *асимптотический склероз*.

Фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация

Создание первого эталонного словаря фрактальных признаков классов целей и постоянное усовершенствование алгоритмического обеспечения явились основными этапами при разработке и макетировании нами первого фрактального непараметрического обнаружителя радиолокационных сигналов (ФНОРС) в виде спецпроцессора.

Обнаружение малоконтрастных объектов на фоне интенсивных помех требует вычисления принципиально новой характеристики, которая отличается от функционалов, связанных с помехами и энергией сигнала, и определяется лишь топологией и размерностью принятого сигнала. Введение в научный обиход радиолокации понятий «детерминированный хаос», «текстура», «фрактал» и «фрактальная размерность D » позволило нам впервые в мире предложить для обнаружения малоконтрастных объектов и применить новые размерностные и топологические (а не энергетические!) признаки или инварианты (рис. 4), которые объединены понятием «топология выборки» $\sim$ «фрактальная сигнатура». Алгоритмы обнаружения протяженных объектов и целей на оптических и радиолокационных изображениях с использованием текстурной обработки были созданы нами еще в 80-е годы XX века (рис. 4).

Предложенная автором *фрактально-скейлинговая* или *масштабно-инвариантная радиолокация* базируется на трех *постулатах*: 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 негауссовских распределений вероятностей D сигнала; 3) максимум топологии при минимуме энергии входного случайного сигнала.

Данные постулаты открывают в радиолокации принципиально новые возможности для обеспечения устойчивой работы при малых q_0^2 или увеличения дальности действия радаров.

Рис. 4. Новые топологические признаки и методы обнаружения малоконтрастных объектов на фоне помех (ТП – текстурные признаки, ЧФК – частотная функция когерентности)

Основные результаты

Впервые исследованы *полные* ансамбли текстурных и пространственных корреляционно-спектральных признаков оптических и радиолокационных изображений реальных земных покровов с последующим выделением кластеров и определением наиболее информативных признаков для определенных классов текстур. Проведенные эксперименты продемонстрировали эффективность и общность предложенного подхода в классификации земных покровов при комплексировании изображений на оптических и миллиметровых волнах. Установлена связь размеров объекта и анализируемого фрагмента оптических и радиолокационных изображений широкого класса земных покровов в случае оптимального обнаружения текстурными методами.

Предсказано наличие странного аттрактора, контролирующего радиолокационное рассеяние от растительных покровов. Впоследствии эффект был обнаружен экспериментально на длине волны 2,2 мм (2002). Показано, что интервал (время) предсказания интенсивности отраженного радиолокационного сигнала примерно на порядок превышает классическое время корреляции. Это позволило ввести в теорию радиолокации новую характеристику, а именно интервал (время) предсказания, что расширяет методы

радиолокации. Дано физическое обоснование применения фрактальных методов в современных областях радиофизики, радиоэлектроники и информационно-управляющих систем. В 1997 г. разработаны методы фрактальной модуляции и фрактальные сигналы, включая введенные автором H -сигналы. Впервые обнаружена и доказана эффективность и перспективность применения теории дробной меры и скейлинговых соотношений (для текстуры и фракталов) в случае обнаружения и распознавания (обобщенной фильтрации) одномерных и многомерных радиолокационных сигналов от малоконтрастных целей на фоне интенсивных негауссовских помех разного рода.

Таким образом, это *принципиально новая* радиотехника. Результаты (БПЛА, РСА, медицина и т. д.) показывают, что фрактальные методы обработки дают повышение качества и детализации объектов и целей в пассивном и активном режиме в несколько раз. Эти методы могут быть успешно применены для обработки информации с космических, авиационных комплексов, малозаметных высотных псевдоспутников (HAPS) или обнаружения кластеров HAPS и БПЛА, синтезированных кластеров космических антенн и космического мусора.

Исследованы фрактальные характеристики эльфов, джетов и спрайтов – наиболее интересных типов недавно открытых высотных разрядов в ионосфере. Синтезированы алгоритмы выделения движущегося удаленного объекта неизвестной формы (фрактального или не фрактального) на малоконтрастном изображении, формируемом в оптико-электронных системах. Впервые доказана принципиальная возможность синтеза новых фрактальных функций и фрактальных функционалов на основе теории нечетких множеств; показано, что физическое содержание теории дифракции, содержащей многомасштабные поверхности, становится более четким при фрактальном подходе и выделении фрактальной размерности D или фрактальной сигнатуры как параметра. Учет фрактальности сближает теоретические и экспериментальные характеристики индикатрис рассеяния земных покровов, что важно для радиолокации и дистанционного зондирования.

Получены аналоги уравнений Максвелла с дробными производными Капуто. Рассмотрена калибровочная инвариантность и выведено диффузионно-волновое уравнение для скалярного и векторного потенциалов. Найдено и проанализировано частное решение диффузионно-волнового уравнения. Проведен строгий электродинамический расчет многочисленных типов фрактальных антенн, принципы конструирования которых лежат в основе фрактальных частотно-избирательных поверхностей и объемов (фрактальные «сэндвичи»). На основе топологии фрактальных лабиринтов синтезировано семейство широкополосных миниатюрных фрактальных антенн.

Впервые предложена и реализована модель «фрактального» конденсатора как фрактального импеданса. Созданы, обоснованы и применены фрактально-скейлинговые методы для формирования основ фрактальной элементной базы, фрактальных датчиков и фрактальных радиосистем. Перспективными элементами фрактальной радиоэлектроники являются функциональные элементы, фрактальные импедансы которых реализуются на основе фрактальной геометрии проводников на поверхности (фрактальные наноструктуры) и в пространстве (фрактальные антенны), фрактальной геометрии поверхностного микрорельефа материалов и т. д. Развитые подходы могут быть распространены на класс электродинамических задач при исследовании фрактальных магнитных кристаллов, фрактальных резонаторов, фрактальных экранов и заграждений, а также других фрактальных частотно-избирательных поверхностей и объемов.

Открыты, предложены и обоснованы новый вид и новый метод современной радиолокации, а именно – фрактально-скейлинговая или масштабно-инвариантная радиолокация. Доказана эффективность функционалов, которые определяются топологией, дробной размерностью и текстурой принятого многомерного сигнала, для синтеза принципиально новых не энергетических обнаружителей малоконтрастных объектов на фоне помех. Это влечет за собой коренные изменения в самой структуре теоретической радиолокации, а также в ее математическом аппарате. Проведенные исследования в области теоретической радиолокации позволяют создавать новые фрактальные многочастотные ММО-системы. Разработаны постулаты фрактально-скейлинговой радиолокации, открывающие новые возможности для обеспечения устойчивой работы при малых отношениях сигнал/(шум + помеха) или увеличения дальности действия радаров.

Существенно развиты теоретические вопросы фрактальной неинерциальной релятивистской радиолокации и квантовой космологии в искривленном пространстве-времени отрицательной фрактальной размерности. *Пример:* на основе уравнения Шредингера с оператором дробного исчисления по пространственным координатам вычислен Фейнмановский интеграл по траекториям для обобщенного лагранжиана с оператором дробного дифференцирования по времени.

Заключение

Выполненные исследования являются приоритетными в мире и служат базой для дальнейшего развития и обоснования практического применения фрактально-скейлинговых и текстурных методов в 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 радиолокационном канале распространения волн с рассеянием [4, 5, 9–16].

Фрактальная геометрия – гениальная заслуга Б. Мандельброта (1924–2010), но ее радиофизическое (радиотехническое) и практическое воплощение – это заслуга известной в мире Российской научной школы фрактальных методов под руководством проф. А.А. Потапова (особенно после встречи с Б. Мандельбротом в США в 2005 г.). Результаты научной деятельности А.А. Потапова в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН по фрактально-скейлинговой и текстурной обработке информации, а также по фрактальным радиосистемам и радиоэлементам опубликованы в четырех отчетных докладах Президиума РАН и в Докладе Правительству РФ.

По монографиям автора составлены курсы лекций по фракталам в различных университетах России и стран ближнего зарубежья. На 2019 год результаты фундаментальных исследований автора отражены в более чем 1 050 работах и 37 книгах и главах в них на русском и английском языках [16].

Работа выполнена в рамках государственного задания и была частично поддержана Международным научно-техническим центром (проект № 0847.2, 2000–2005, США), Российским фондом фундаментальных исследований (проекты РФФИ №05-07-90349, 07-07-07005, 07-07-12054, 07-08-00637, 11-07-00203, 18-08-01356-а), а также проектом «Leading Talents» (проект № 00201502, 2016–2020) в Джинанском университете (Гуанджоу, Китай).

Литература

1. *Mandelbrot B.* The Fractal Geometry of Nature. – N.-Y.: Freeman and Company, 1982. – 468 p.
2. *Rogers C.A.* Hausdorff Measures. – London: Cambridge Univ. Press, 1970. – 179 p.
3. Гнеденко Б.В., Колмогоров А.Н. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин. – М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1949. – 264 с.
4. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. – М.: Логос, 2002. – 664 с.; Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.
5. 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, 2008. – 496 с. (грант РФФИ № 07–07–07005).
6. *Oldham K.B., Spanier J.* The Fractional Calculus. – N.Y.: Acad. Press, 1974. – 234 p.
7. Потапов А.А., Черных В.А. Дробное исчисление А.В. Летникова в физике фракталов. – Saarbrücken: LAMBERT Academic Publ., 2012. – 688 с.
8. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. – Минск: Наука и техника, 1987. – 688 с.
9. Потапов А.А. Фракталы и хаос как основа новых прорывных технологий в современных радиосистемах // Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Техносфера, 2006. – С. 374–479.
10. *Potapov Alexander A.* Chaos Theory, Fractals and Scaling in the Radar: A Look from 2015 // The Foundations of Chaos Revisited: From Poincaré to Recent Advancements / Ed. C. Skiadas. – Switzerland, Basel: Springer Int. Publ., 2016. – P. 195–218.
11. *Potapov Alexander A.* On the Indicatrixes of Waves Scattering from the Random Fractal Anisotropic Surface // Fractal Analysis – Applications in Physics, Engineering and Technology / Ed. Fernando Brambila. – Rijeka: InTech, 2017. – P. 187–248.
12. *Potapov Alexander A.* Postulate «The Topology Maximum at the Energy Minimum» for Textural and Fractal-and-Scaling Processing of Multidimensional Super Weak Signals against a Background of Noises // Nonlinearity: Problems, Solutions and Applications. – V. 2 / Ed. L.A. Uvarova. – New York: Nova Science Publ., 2017. – P. 35–94.
13. Потапов А.А. Многократное рассеяние волн на фрактальном ансамбле частиц и в больших неупорядоченных фрактальных системах // Турбулентность, динамика атмосферы и климата / под ред. Г.С. Голицына и др. – М.: Физматкнига, 2018. – С. 564–573.
14. *Alisultanov Z.Z., Agalarov A.M., Potapov A.A., Ragimkhanov G.B.* Some Applications of Fractional Derivatives in Many – Particle Disordered Large Systems // Fractional Dynamics, Anomalous Transport and Plasma Science / Ed. C. Skiadas. – Switzerland: Springer Int. Publ., 2018. – P. 125–154.
15. 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 и электроника. – 2019. – Т. 64, № 9. – С. 839–854.
16. Профессор Александр Алексеевич Потапов. Биобиблиографический указатель / под ред. акад. Ю.В. Гуляева. – М., 2019. – 256 с.

Поступила в редакцию 24 августа 2019 г.

UDC 537.86 + 621.37 + 621.396

DOI: 10.21779/2542-0321-2019-34-4-42–52

Fractal and textural non-Markovian hereditary processes and its radio physical applications: 40 years of research experience

A.A. Potapov

Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics (IREE) of Russian Academy of Sciences; Russia, 125009, Moscow, Mokhovaya st., 11, building 7; potapov@cplire.ru

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 has been presented in this work. The researches are conducted in the framework of scientific direction "Fractal radio physics and fractal radio electronics: designing of fractal radio systems" being the subject of analysis starting from 1979 up to the present.

Keywords: *Radio physics, radio location, non-linear dynamics, fractal, fractional operator, non-Markovin random process.*

Received 24 August, 2019