

Торайғыров университетінің
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Торайғыров университета

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ

Физика, математика және компьютерлік
ғылымдар сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

Серия: Физика, математика
и компьютерные науки
Издается с 1997 года

ISSN 2959-068X

№ 2 (2022)
Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

Серия: Физика, математика и компьютерные науки
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ91VPY00046988

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области физики, математики,
механики и информатики

Подписной индекс – 76208

[https://doi.org/ 10.48081/JVDF6096](https://doi.org/10.48081/JVDF6096)

Бас редакторы – главный редактор

Тлеукунов С. К., *ф.-м.г.д., профессор*

Заместитель главного редактора Испулов Н. А., *ф.-м.г.к., профессор*

Ответственный секретарь Жумабеков А. Ж., *магистр*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Esref Adali,

Qadir Abdul,

Домбаев К. М.,

Демкин В. П.,

Жумадиллаева А. К.,

Ибраев Н. Х.,

Косов В. Н.,

Сеитова С. М.,

Шоканов А. К.,

Омарова А. Р.,

PhD докторы, профессор (Турция);

PhD докторы, профессор (Пакистан);

ф.-м.г.д., профессор;

ф.-м.г.д., профессор (Российская Федерация);

т.г.к., кауымд. профессор;

ф.-м.г.д., профессор;

ф.-м.г.д., профессор;

пед.г.д., профессор;

ф.-м.г.к., профессор

технический редактор

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на

«Вестник Торайгыров университета» обязательна

СЕКЦИЯ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА»

МРНТИ 29.01.07

<https://doi.org/10.48081/FNFJ8170>

***А. А. Потапов**

Институт радиоэлектроники имени В. А. Котельникова РАН,

Российская Федерация, г. Москва;

Совместно китайско-российская лаборатория информационных технологий и фрактальной обработки сигналов,

Университет Гуанчжоу, Китай, Гуанчжоу

ФРАКТАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ФРАКТАЛЬНЫЙ ИНЖИНИРИНГ – НОВЫЕ ПОНЯТИЯ В ТЕОРИИ И ПРАКТИКЕ ФРАКТАЛОВ И ДИНАМИЧЕСКОГО ХАОСА

В данной статье представлен аналитический обзор исследований по фрактальному инжинирингу. Приведено описание становления философии фрактальной инженерии в Китае с разъяснением причин ее расцвета. Показаны результаты исследований автора в области фракталов и их инженерных приложений, в частности, основные фундаментальные исследования по текстурным и фрактальным направлениям. Впервые определен принципиально новый класс топологических текстурно-мультифрактальных признаков, позволяющих совместно оценивать различные фрактальные свойства текстуры. Автором приведены важные результаты в следующих областях фотоники, радиофотоники, вычислительной метаоптики и диэлектрических 2D метаматериалов или вычислительных метаповерхностей, полученные совместно с китайскими учеными за период 2019–2021 годы. А также автором предложен дизайн нечувствительной к поляризации метаповерхности. Исследования в данной области могут стать базой для дальнейшего развития и обоснования практического применения топологических фрактально-скейлинговых и текстурных методов в современной радиофизике, радиолокации, нанотехнологиях и фотонике, а также в совершенствовании принципиально новых и более

точных топологических текстурно-фрактальных оптимальных методов обнаружения и измерения параметров сигналов в пространственно-временном радиолокационном и навигационном канале распространения волн с рассеянием.

Ключевые слова: фрактальный инжиниринг, фрактально-скейлинговый метод, текстурно-мультифрактальные признаки, 2D-метаматериал, метаповерхность, метаоптика.

Введение

Занимаясь более 40 лет исключительно теорией и практикой фракталов [1–11], автор в настоящем докладе решил достаточно кратко, но емко, поговорить о том, что такое фрактальная инженерия и фрактальный инжиниринг. Как хорошо известно, инженерия – область человеческой интеллектуальной деятельности, задачей которой является применение достижений науки, техники, использование законов физики и природных ресурсов для решения конкретных проблем, целей и задач. Инженерия настолько широкая область, что имеет целый ряд категорий, которые объединяет одно общее, – в их основе всегда лежит процесс создания человеком чего-то нового.

Сейчас на основе изучения современной науки, техники (технологий) и инженерии в мире проявляется активный интерес к философии инженерии.

В 2002 г. китайский ученый Ли Боцун опубликовал «Введение в философию инженерии» [12], в 2003 г. американский ученый Луис Бучиарелли издал книгу «Философия инженерии» [13]. После этого началось быстрое развитие философии инженерии. Инженерия – это профессия, направленная на изменение природной среды путем проектирования, производства и технического обслуживания артефактов и технологических систем. Тогда ее можно было бы противопоставить науке, целью которой является понимание природы. Инженерия по своей сути направлена на то, чтобы вызвать изменения, и поэтому управление изменениями занимает центральное место в инженерной практике.

В работе [12] была введена концепция «трех начал» (наука, техника, инженерия), в которой было проведено их четкое разделение. Были рассмотрены более полусотни категорий философии инженерии (план, принятие решения, цель, составление плана и др.), проведено осмысление проблем философии инженерии.

Материалы и методы

Становление философии инженерии в Китае и причины ее расцвета

Три периода формирования китайской философии инженерии – зарождение (до 2002 г.), формирование (2002–2007 гг.) и развитие (после 2007 г.) представлены в [14].

По своей сути философия инженерии является философией преобразования мира, а не традиционной философией, объясняющей мир. Почему философия инженерии возникла и быстро развивается в Китае? Это происходит по многим причинам [14]. Во-первых, хотя Китай не относится к самым развитым странам мира в области науки и техники, он обладает самой богатой в мире инженерной практикой, это страна с самым крупным масштабом инженерии. Под влиянием этой социальной ситуации и среды инженерия неизбежным образом оказалась в центре внимания всех слоев китайского общества. В инженерной практике Китай накопил огромный опыт, включающий большое количество как положительных, так и негативных сторон.

Во-вторых, в китайской культурной традиции естественным образом также присутствуют компоненты, схожие с западной культурной традицией. Однако, когда Китай заимствовал у Запада науки нового времени, ставшее культурным барьером на пути философии инженерии стремление западных ученых трактовать инженерию как придаток науки не проявилось в Китае явным образом. Современный Китай воспринял традицию марксистской философии вместе с ее самым фундаментальным девизом: «Философы лишь различным образом объясняли мир; но дело заключается в том, чтобы изменить его». Марксизм стал в Китае ведущей идеологией, и в этих социальных условиях философия инженерии очевидным образом является той философией, которая «изменяет мир».

В-третьих, в Китае с начала 1960-х в сфере изучения диалектики природы были заложены основы союза философов и инженеров, подготовлены исследовательские кадры. Изучение китайскими учеными философских проблем естествознания и техники имеет давнюю историю и восходит к 1930-м, когда на китайский язык были переведены работы классиков марксизма по диалектике природы. После 1956 г. диалектика природы обрела в Китае статус официально признанной научной дисциплины, ее разработка была включена в государственные исследовательские планы. Отметим, что в тот период на развитие философии науки и техники в Китае повлияли работы советских авторов.

В-четвертых, китайские ученые на начальном этапе исследования философии инженерии использовали ресурсы западной философии, они обращались к теориям западной философии науки, философии техники, философии экономики. Вместе с тем, они унаследовали ресурсы китайской традиционной философии. Они полагали, что «закон Будды находится

в этом мире», то есть верили в то, что самые глубокие философские теории обязательно присутствуют в реальной жизни, тогда как инженерия является самым основным и важным видом общественной практики. Это теоретическое убеждение поддерживало усилия по развитию нового направления – философии инженерии.

В-пятых, великие достижения и богатый опыт реальной инженерной практики Китая предоставляют исследователям философии инженерии прочную практическую основу и чрезвычайно благоприятную социальную среду. Без этих благоприятных условий было бы крайне трудно помыслить о лидерстве Китая в развитии философии инженерии.

Источником «происхождения» большинства представителей китайских философских кругов, занимающихся ныне философией инженерии, были философия науки и философия техники, поэтому неизбежным стало заимствование из этих дисциплин их теорий и методов. При развитии теории внутри научной дисциплины философии инженерии нужно исследовать онтологию инженерии, гносеологию инженерии, методологию инженерии и прочие классические теоретические направления. Вместе с тем, следует продолжать изучение инженерного проектирования, инженерных знаний, инженерного мышления, инженерной мудрости, инженерной рациональности и прочих более конкретных вопросов.

Исследования автора в области фракталов и их инженерных приложений.

Придерживаясь обозначенной нами траектории, мы непосредственно перейдем к нашим конкретным исследованиям. В своем докладе на основе личных научных работ (на данный момент их около 1400) и громадного опыта работы в области фракталов (более 40 лет) автор впервые вводит понятия «фрактальная инженерия» и «фрактальный инжиниринг», так же, как он гораздо ранее ввел понятия «фрактальный метод» и «фрактальная парадигма» в современном естествознании [15 - 17], что, несомненно, внесет достойный вклад в развивающуюся философию инженерии.

На рис. 1 и рис. 2 схематично приведены основные фундаментальные исследования автора по текстурным и фрактальным направлениям (по сравнению с докладом на предыдущей 11-й Междунар. науч. конф. «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент», 2019 г., внизу схемы (рис. 1) появились два дополнительных и очень важных прямоугольника – «Фрактальное комплексирование РЛИ» и «Вычислительные метаповерхности, фотоника», а на рис. 2 – прямоугольник «Структурно-параметрический синтез систем текстурно-фрактальной обработки (ТТФО), 2021 г.», все это – впервые в мире).



Рисунок 1 – Авторская концепция фрактальных радиосистем, датчиков, устройств и радиоэлементов

На рисунке 1 появился один дополнительный и очень существенный прямоугольник – «Структурно-параметрический синтез систем текстурно-фрактальной обработки (ТТФО), 2021 г.». Представленная схема структурно-параметрического синтеза позволяет говорить об оптимальности ТТФО многомерных изображений, поскольку критерием эффективности служит максимум одной или одновременно нескольких вероятностных характеристик – классификации (сегментации), обнаружения или распознавания в зависимости от решаемых системой задач.

Для такого синтеза нами впервые и специально предложен в принципиально новый класс топологических текстурно-мультифрактальных признаков, позволяющих совместно оценивать различные фрактальные свойства текстуры. При этом решаются все вопросы совместной оценки скейлинговых, сингулярных, мультифрактальных и анизотропных свойств текстуры изображений любого вида. Этот класс признаков мы назвали направленной морфологической мультифрактальной сигнатурой (НММФС).

Вычисление НММФС начинается с вычисления локальных морфологических мультифрактальных показателей (ЛММФП) $L_q(\varepsilon, r)$ для требуемого числа угловых направлений анализа $r_{\max}$ обрабатываемого изображения $I(m, n)$ и формировании массива соответствующих значений в координатах «направление-масштаб» для каждого порядка скейлингового момента q , где, $-\infty \leq q \leq \infty$, $q \neq 0$, здесь $m = 1, 2, \dots, M$, $n = 1, 2, \dots, N$ – число строк и столбцов, соответственно.

Расчет обобщенной статистической суммы $Z(q, \varepsilon, r)$ для каждого направления анализа $r \in (1, 2, \dots, r_{\max})$ осуществляется по сформированному набору «верхних» $\{U_{\varepsilon, r}(m, n)\}$ и «нижних» $\{X_{\varepsilon, r}(m, n)\}$, «покрытий», полученных в результате морфологической обработки (дилатации и эрозии

соответственно) массива $\{Br(m, n)\}$, повернутых на требуемое число $r_{\max}$ угловых положений копий исходного изображения с использованием набора «плоских» горизонтально-ориентированных структурных элементов $\{Y_\varepsilon, \varepsilon=1, 2, \dots, E\}$, длина w ($w = 2\varepsilon + 1$) которых соответствует анализируемому масштабу. Обобщенная статистическая сумма $Z(q, \varepsilon, r)$ q -го порядка на каждом анализируемом масштабе ε для каждого повернутого изображения $Br(m, n)$ определяется следующим соотношением:

$$Z(q, \varepsilon, r) = ((2\varepsilon)^{-1}V(\varepsilon, r))V^{-q}(\varepsilon, r)(\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (|U_{\varepsilon, r}(m, n) - X_{\varepsilon, r}(m, n)|)^q), \quad (1)$$

где:

$$V(\varepsilon, r) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N U_{\varepsilon, r}(m, n) - X_{\varepsilon, r}(m, n) \quad (2)$$

– «объем» поверхности изображения $Br(m, n)$ на масштабе ε , заключенный между соответствующими покрытиями.

Определение мультифрактальной сигнатуры МФС $S_{q,r}$ осуществляется посредством расчета ЛММФП, измеряемыми между соседними масштабами анализа по выражению

$$L_q(\varepsilon, r) = \left(\log \frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}\right)^{-1} \log \frac{Z(q, \varepsilon+1, r)}{Z(q, \varepsilon)} \quad (3)$$

последующим формированием массива

$$S_{q,r} = \begin{bmatrix} L_{-\infty}(\varepsilon_1) & L_{-\infty}(\varepsilon_2) & \dots & L_{-\infty}(\varepsilon_{\max} - 1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ L_{-1}(\varepsilon_1) & L_{-1}(\varepsilon_2) & \dots & L_{-1}(\varepsilon_{\max} - 1) \\ L_1(\varepsilon_1) & L_1(\varepsilon_2) & \dots & L_1(\varepsilon_{\max} - 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{\infty}(\varepsilon_1) & L_{\infty}(\varepsilon_2) & \dots & L_{\infty}(\varepsilon_{\max} - 1) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $L_1(\varepsilon) = [L_q(\varepsilon, r_1) \ L_q(\varepsilon, r_2) \ \dots \ L_q(\varepsilon, r_{\max})]^T$ – вектор-столбец

ЛММФП для $r_{\max}$ числа поворотов q -го порядка для масштаба анализа ε , $[\]^T$ – оператор транспонирования. Далее осуществляется определение преобладающих направлений ориентации элементов текстуры на соответствующих масштабах анализа на основе аппроксимации эллипсами совокупности значений ЛММФП $\{L_q(\varepsilon, r)\}$, сформированных для заданного показателя q в полярной системе координат, и определении

параметров эллиптичности $k_z(q, \varepsilon)$ и угла $\psi(q, \varepsilon)$ наклона эллипса. Данные многоплановые теоретические и экспериментальные исследования (весьма трудоемкие) выполнены совместно с соавторами из Военно-воздушной академии им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина.

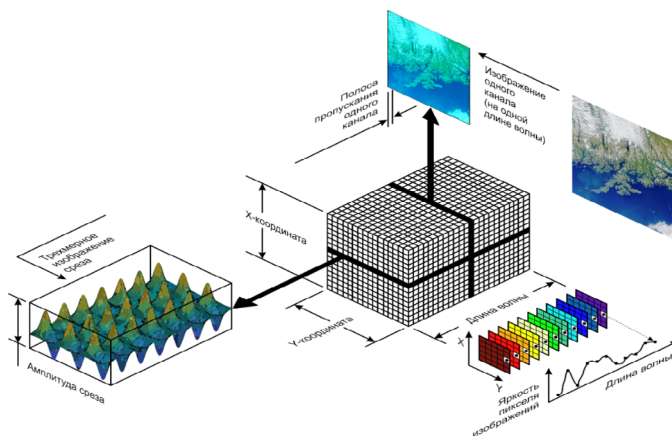


Рисунок 3 (а) – Модель хранения и анализа мульти- и гиперспектральных данных

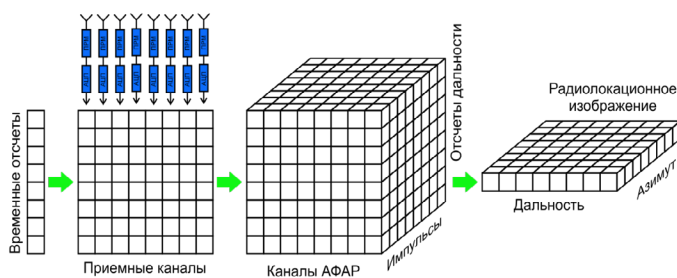


Рисунок 3 (б) – Модель формирования куба радиолокационных данных

3 Результаты и обсуждение

В докладе также представлены избранные результаты (рис. 1) в области фотоники, радиофотоники, вычислительной метаоптики и диэлектрических 2D метаматериалов (ММ) или вычислительных метаповерхностей (МП), которые были получены автором с китайскими учеными в совместной лаборатории информационных технологий и фрактальной обработки сигналов в Китае за период 2019 – 2021 годы; результаты опубликованы в ведущих международных научных журналах в США и Швейцарии. Отметим,

что в Китае действует специальная государственная программа, и в 2015 году Китай стал мировым лидером по объему производства устройств фотоники.

Далее мы представляем дизайн нечувствительной к поляризации МП. В наших работах представлен путь к реализации высокоэффективных оптических МП, выполняющих изотропное и нечувствительное к поляризации обнаружение краев на произвольном 2D-изображении. Реализация операции Лапласа в виде оптических аналоговых вычислений недавно привлекла внимание, и компактное устройство с высоким пространственным разрешением все еще не изобретено. Мы предложили метаповерхность Лапласа, которая может выполнять почти идеально операцию Лапласа для разных конфигураций падающего светового поля – рис. 4. Предлагаемая МП Лапласа основана на возбуждении связанного состояния в континууме, которое продемонстрировало экзотические оптические свойства. Высоко симметричный профиль режима обеспечивает почти изотропную ОПФ операции Лапласа. Предлагаемая МП Лапласа может быть настроена для работы на разных длинах волн в режиме передачи, что дает преимущества для приложений оптических вычислений, медицинской диагностики, машинного зрения и т.д.

Одно из применений операции Лапласа – обнаружение краев проблемных целей и т.п. на изображении. Мы демонстрируем, что предложенную МП Лапласа можно использовать для распознавания дорожных знаков, что имеет решающее значение для автоматизированного вождения (рис. 4). Мы также использовали типичный QR-код в качестве входного 2D изображения, поскольку QR-коды теперь важны в нашей повседневной жизни, и обнаружение краев для них играет решающую роль в обнаружении области QR-кода (рис. 6(а)). Выбранный нами QR-код несет информацию о китайском иероглифе, означающем «Свет». Посредством процедуры обработки, обсуждаемой в данном контексте, мы можем получить результаты от идеальной операции Лапласа и от МП Лапласа, которые показаны на рис. 4(б) и 4(с).

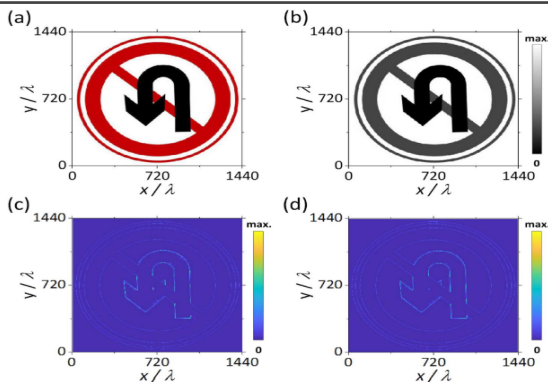


Рисунок 4 (а) – Цветное изображение дорожного знака;
 (б) Соответствующее изображение в градациях серого в качестве
 входных данных; (с) и (д) Выходное изображение из идеального
 оператора Лапласа и МП Лапласа для (б) соответственно

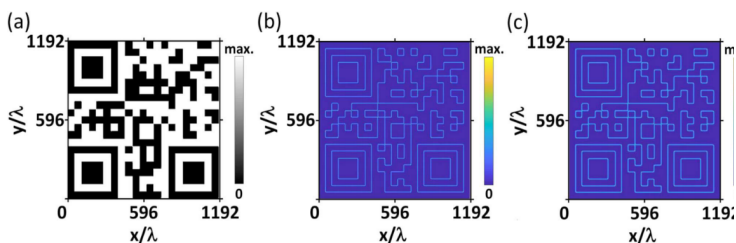


Рисунок 5 (а) – Входное изображение, состоящее из QR-кода; (б) выходное
 изображение идеальной операции Лапласа; (с) выход из МП Лапласа

Ввиду ограниченного объема доклада автор лишь конспективно перечислит другие направления фотоники, которые также исследуются в наших совместных работах и подробно там представлены. Это: управление рассеянием света наночастицами с помощью магнито-электрической связи и нулевое обратное рассеяние (теория рассеяния света наночастицами и электромагнитные мультиполи, численное моделирование, проверочные эксперименты в области частот от 4 до 7,5 ГГц); сильная оптомеханическая связь в цепочечных волноводах из наночастиц кремния с квазисвязанными состояниями в континууме (фотон – фононное взаимодействие с микроструктурами) и т.п. И так, применение вычислительных диэлектрических МП в целом выводит на новый уровень все функциональные характеристики предложенной автором в конце

XX века топологической текстурно-фрактальной обработки (ТТФО) сигналов и полей при решении классических задач обнаружения, измерения, распознавания и классификации интеллектуальными радиотехническими системами и устройствами. Такая задача пока не ставилась в научном мире. Автором движет уверенность, что наши текущие и будущие исследования окажутся чрезвычайно полезными для будущих устройств обработки потоков информации, и не только в радиолокации.

Данные показывают успешное, уверенное и стремительное развитие предложенных впервые в мире автором понятий фрактальная инженерия и фрактальный инжиниринг вкупе с философией фрактальной инженерии.

Авторские подходы к фрактальной инженерии, фрактальному инжинирингу и философии фрактальной инженерии: К вопросу о приоритетах в исследовании фракталов.

Название и содержание данного подраздела полностью соответствует контенту фрактальной инженерии и особенно контенту фрактального инжиниринга при учете философии инженерии. В качестве преамбулы немного о своих планах и будущих научных работах. Сейчас почти 2 года я подготавливаю серию своих книг (своего рода избранные работы А. А. Потапова в 3-х или 5-и томах (Selected works of A. A. Potapov in 3 or 5 volumes), примерно 3400 страниц, без учета всех моих ранее вышедших монографий) по фракталам и их применениям. Целью данной серии монографий является систематическое изложение взглядов автора на принципы новых информационных технологий нового века в радиолокации и смежных радиотехнических и радиофизических направлениях. Автор рассматривает эти книги, прежде всего как «руководство» в стремительно развивающейся области знаний. Практика и теория должны развиваться рука об руку. Абсолютно логичны в данном направлении и вопросы приоритетов в конкретной области знаний.

Выводы

Данные, приведенные в докладе, показывают успешное, уверенное и стремительное развитие предложенных впервые в мире автором понятий фрактальная инженерия и фрактальный инжиниринг вкупе с философией фрактальной инженерии. Практически 80-е годы XX века были для автора началом зарождения русской философии фрактальной инженерии и фрактального инжиниринга.

Выполненные исследования являются приоритетными в мире и служат базой для дальнейшего развития и обоснования практического применения топологических фрактально-скейлинговых и текстурных методов в современной радиофизике, радиолокации, нанотехнологиях и фотонике, а также в совершенствовании принципиально новых и более

точных топологических текстурно-фрактальных оптимальных методов обнаружения и измерения параметров сигналов в пространственно-временном радиолокационном и навигационном канале распространения волн с рассеянием [1–11, 15–20].

Применение фрактальных систем, датчиков и узлов является принципиально новым решением, существенно меняющим принципы построения интеллектуальных радиотехнических систем и устройств. Фрактальные методы обработки дают повышение качества и детализации объектов и целей в несколько раз.

Вычислительная метаоптика вносит переворот в оборудование с преимуществами сверхбыстрой скорости, сверхнизкого энергопотребления и параллельной обработки информации в универсальных, в том числе, и фрактальных, приложениях. Недавнее появление метаповерхностей позволило полностью манипулировать электромагнитными волнами в субволновых масштабах, обещая многофункциональные, высокопроизводительные, компактные и плоские оптические процессоры.

Автор выражает искреннюю благодарность китайским ученым, с которыми были совместно выполнены и опубликованы статьи по фотонике и вычислительной метаоптике в ведущих международных научных журналах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Потапов, А. А.** Фракталы в действии: Биобиблиографический указатель / Под ред. академика Ю. В. Гуляева. – М. : ЦПУ «Радуга», 2019. – 256 с. (Одобрено Ученым советом ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН 26.12.2018).

2 **Potapov Alexander A., Wu Hao, Xiong Shan.** Fractality of Wave Fields and Processes in Radar and Control. – Guangzhou : South China University of Technology Press (First edition: November 2020), 2020. – 280 p.

3 **Потапов, А. А.** Фракталы в радиофизике и радиолокации. – М. : Логос, 2002. – 664 с.; Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Университетская книга, 2005. – 848 с.

4 **Потапов, А. А.** Фракталы и хаос как основа новых прорывных технологий в современных радиосистемах. – Дополнение к кн.: Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах. – М. : Техносфера, 2006. – С. 374-479.

5 **Бункин, Б. В., Реутов, А. П., Потапов, А. А. и др.** Вопросы перспективной радиолокации (Коллективная монография). – М. : Радиотехника, 2003. – 512 с.

6 Подосенов, С. А., Потапов, А. А., Соколов, А. А. Импульсная электродинамика широкополосных радиосистем и поля связанных структур / Под ред. А. А. Потапова. – М. : Радиотехника, 2003. – 720 с.

7 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. (монография - по гранту РФФИ № 07 – 07 - 07005).

8 Подосенов, С. А., Потапов, А. А., Фоукзон, Дж., Менькова, Е. Р. Неголономные, фрактальные и связанные структуры в релятивистских сплошных средах, электродинамике, квантовой механике и космологии. – В 3-х томах / Под ред. А. А. Потапова. – М. : ЛЕНАНД, URSS, 2016. – 1128 с.

9 Марголин, В. И., Потапов, А. А., Фармаковский, Б. В., Кузнецов, П. А. Развитие нанотехнологий на основе нанокompозитов. – СПб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016 – 190 с.

10 Потапов, А. А., Быстров, Р. П., Гвоздев, А. Е., Немцов, А. В. Избранные вопросы теории и практики линейной и нелинейной радиолокации. – В 3-х частях / Под ред. А. А. Потапова. – М. : 3 ЦЦНИИ МО РФ, 2014. – 654 с.

11 Потапов, А. А. Многократное рассеяние волн на фрактальном ансамбле частиц и в больших неупорядоченных фрактальных системах // В книге: «Турбулентность, динамика атмосферы и климата» / Под ред. Г. С. Голицына и др. – М. : Физматкнига, 2018. – С. 564-573.

12 Ли Боцун. Гунчэн чжэсюэ иньлунь - во цзао у гу во цзай [Введение в философию инженерии – я создаю вещи, следовательно я существую] (на китайском языке). – Чжэнчжоу : Дасян чубаньшэ, 2002. – 452 с.

13 Bucciarelli, L. L. Engineering philosophy. – Delft : Delft Univ. Press, 2003. – 102 p.

14 Бао Оу. Становление философии инженерии в Китае // Проблемы Дальнего Востока. – 2013. – № 4. – С. 135–147.

15 Потапов, А. А. Фрактальный метод и фрактальная парадигма в современном естествознании. – Воронеж : ИПЦ «Научная книга», 2012. – 108 с.

16 Потапов, А. А. Размышления о фрактальном методе, методе дробных интегропроизводных и фрактальной парадигме в современном естествознании (Из записных книжек автора) // РЭНСИТ. – 2012. – Т. 4. – № 1. – С. 103-142.

17 Потапов, А. А. Фрактальный метод, фрактальная парадигма и метод дробных производных в естествознании // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Математическое моделирование. Оптимальное управление. – 2012. – № 5(2). – С. 172-180.

18 Патент RU 2746038 C1 G06T 5/50 (2020.09). Способ фрактального комплексирования многочастотных радиолокационных изображений / Кузнецов В. А., Потапов А. А., Аликулов Е. А. // (Приоритет изобретения 05.09.2020 г. – Дата государственной регистрации 06.04.2021 г.). – Бюл. № 10.

19 **Потапов, А. А., Кузнецов, В. А., Аликулов, Е. А.** Анализ способов комплексирования изображений, формируемых многодиапазонными радиолокационными станциями с синтезированной апертурой // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2021. – Т. 24. – № 3. – С. 6-21.

20 **Потапов, А. А., Кузнецов, В. А., Аликулов, Е. А.** Мультифрактальное комплексирование многодиапазонных радиолокационных изображений // Тез. докл. Междунар. конф. «XXII Харитоновские тематические научные чтения. Суперкомпьютерное моделирование и искусственный интеллект» (Саров, 24 - 27 мая 2021 г.). – Саров : Изд-во ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ», 2021. – С. 108-109.

REFERENCES

1 **Potapov, A. A.** Fraktaly` v dejstvii: Biobibliograficheskij ukazatel [Fractals in Action: Bio-Bibliographic Index] / Ed. Academician Yu. V. Gulyaev. – Moscow : TsPU «Rainbow», 2019. – 256 p. (Approved by the Academic Council of the IRE named after V. A. Kotelnikov RAS on December 26, 2018).

2 **Potapov Alexander A., Wu Hao, Xiong Shan.** Fractality of Wave Fields and Processes in Radar and Control. – Guangzhou : South China University of Technology Press (First edition: November 2020), 2020. – 280 p.

3 **Potapov, A. A.** Fraktaly` v radiofizike i radiolokacii [Fractals in radiophysics and radar] – Moscow : Logos, 2002. – 664 p.; Potapov A. A. Fractals in Radiophysics and Radar: Sampling Topology. Ed. 2nd, revised. and additional – Moscow : Universitetskaya kniga, 2005. – 848 p.

4 **Potapov, A. A.** Fraktaly` i kaos kak osnova novy`x prory`vny`x texnologij v sovremenny`x radiosistemax [Fractals and chaos as the basis of new breakthrough technologies in modern radio systems] – Supplement to the book: Kronover R. Fractals and chaos in dynamical systems. – Moscow : Technosfera, 2006. – P. 374–479.

5 **Bunkin, B. V., Reutov, A. P., Potapov, A. A. i dr.** Voprosy` perspektivnoj radiolokacii (Kollektivnaya monografiya) [Questions of advanced radar (Collective monograph)]. – Moscow : Radio engineering, 2003. – 512 p.

6 **Podosenov, P. A., Potapov, A. A., Sokolov, A. A.** Impul`sная e`lektrodinamika shirokopolosny`x radiosistem i polya svyazanny`x struktur [Pulse Electrodynamics of Broadband Radio Systems and the Field of Coupled Structures], Ed. A. A. Potapova. – Moscow : Radio engineering, 2003. – 720 p.

7 Potapov, A. A., Gulyaev, Yu. V., Nikitov, P. A., Paxomov, A. A., German, V. A. Novejshie metody obrabotki izobrazhenij [The latest methods of image processing] / Ed. A. A. Potapov. – Moscow : FIZMATLIT, 2008. – 496 p. (Monograph – under the RFBR grant No. 07 - 07 - 07005).

8 Podosenov, P. A., Potapov, A. A., Foukzon, Dzh., Men'kova, E. R. Negolonomny'e, fraktal'ny'e i svyazanny'e struktury v relyativistskix sploshny'x sredax, e'lektrodinamike, kvantovoj mexanike i kosmologii [Nonholonomic, fractal and coupled structures in relativistic continuous media, electrodynamics, quantum mechanics and cosmology] – In 3 volumes / Ed. A. A. Potapov. – Moscow : LENAND, URSS, 2016. – 1128 p.

9 Margolin, V. I., Potapov, A. A., Farmakovskij, B. V., Kuznecov, P. A. Razvitie nanotexnologij na osnove nanokompozitov [Development of nanotechnologies based on nanocomposites]. – St. Petersburg : Publishing House of St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2016 – 190 p.

10 Potapov, A. A., By'strov, R. P., Gvozdev, A. E., Nemczov, A. V. Izbranny'e voprosy teorii i praktiki linejnoy i nelinejnoy radiolokacii [Selected issues of theory and practice of linear and non-linear radar]. – In 3 parts / Edited by A.A. Potapov. – M. : 3 Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2014. – 654 p.

11 Potapov, A. A. Mnogokratnoe rasseyanie voln na fraktal'nom ansamble chasticz i v bol'shix neuporyadochenny'x fraktal'ny'x sistemax [Multiple Scattering of Waves by a Fractal Ensemble of Particles and in Large Disordered Fractal Systems] // In the book: «Turbulence, Atmospheric and Climate Dynamics» / Ed. G.S. Golitsyna and others. – M. : Fizmatkniga, 2018. – P. 564-573.

12 Li Boczun. Gunche'n chzhe'syue' in'lun' – vo czzao u gu vo czzaj [Vvedenie v filosofiyu inzhenerii - ya sozdayu veshhi, sledovatel'no ya sushhestvuyu] (na kitajskom yazy'ke) [Gongcheng zhexue yinlun - wo zao wu gu wo zai [An introduction to the philosophy of engineering – I create things, therefore I exist] (in Chinese)]. – Zhengzhou : Daxiang chubanshe, 2002. – P. 452.

13 Bucciarelli, L. L. Engineering philosophy. – Delft : Delft Univ. Press, 2003. – 102 p.

14 Bao Ou. Stanovlenie filosofii inzhenerii v Kitae [Formation of philosophy of engineering in China] // Problems of the Far East. – 2013. – No. 4. – P. 135-147.

15 Potapov, A. A. Fraktal'ny'j metod i fraktal'naya paradigma v sovremennom estestvoznanii [Fractal method and fractal paradigm in modern natural science]. – Voronezh : CPI «Scientific Book», 2012. – 108 p.

16 Potapov, A. A. Razmy'shleniya o fraktal'nom metode, metode drobnny'x integroproizvodny'x i fraktal'noj paradigme v sovremennom estestvoznanii (Iz zapisny'x knizhek avtora) [Reflections on the fractal method, the method of

fractional integro derivatives and the fractal paradigm in modern natural science (From the author's notebooks)] // RE'NSIT. – 2012. – Т. 4. – No. 1. – P. 103-142.

17 **Potapov, A. A.** Fraktal'ny'j metod, fraktal'naya paradigma i metod drobnny'x proizvodny'x v estestvoznanii // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie. Optimal'noe upravlenie [Fractal method, fractal paradigm and the method of fractional derivatives in natural sciences // Bulletin of the Nizhny Novgorod University. N. I. Lobachevsky. Series: Mathematical Modeling. Optimal control]. – 2012. – No. 5 (2). – P. 172–180.

18 Patent RU 2746038 C1 G06T 5/50 (2020.09). Sposob fraktal'nogo kompleksirovaniya mnogochastotny'x radiolokacionny'x izobrazhenij / Kuznecov V. A., Potapov A. A., Alikulov E. A. // (Prioritet izobreteniya 05.09.2020 g. – Data gosudarstvennoj registracii 06.04.2021 g.). – Byul. № 10 [Patent RU 2746038 C1 G06T 5/50 (2020.09). The method of fractal complexing of multi-frequency radar images / Kuznetsov V. A., Potapov A. A., Alikulov E. A. // (Invention priority 09/05/2020 – State registration date 04/06/2021). – Bull. No. 10].

19 **Potapov, A. A., Kuznecov, V. A., Alikulov, E. A.** Analiz sposobov kompleksirovaniya izobrazhenij, formiruemy'x mnogodiapazonny'mi radiolokacionny'mi stanciyami s sintezirovannoj aperturoj [Analysis of methods for complexing images generated by multi-band radar stations with a synthetic aperture]. Izv. Russian universities. Radioelectronics– 2021. – Т. 24. – № 3. – P. 6–21.

20 **Potapov, A. A., Kuznecov, V. A., Alikulov, E. A.** Mul'tifraktal'noe kompleksirovanie mnogodiapazonny'x radiolokacionny'x izobrazhenij // Tez. dokl. Mezhdunar. konf. «XXII Xaritonovskie tematicheskie nauchny'e chteniya. Superkomp'yuternoe modelirovanie i iskusstvenny'j intellekt» (Sarov, 24 - 27 maya 2021 g.) [Multifractal complexing of multi-range radar images // Proceedings. report International conf. «XXII Kharitonov thematic scientific readings. Supercomputer modeling and artificial intelligence» (Sarov, May 24–27, 2021)] - Sarov: Publishing house of the Federal State Unitary Enterprise «RFNC-VNII», 2021. – P. 108–109.

Материал поступил в редакцию 07.06.22.

**А. А. Потанов*

Котельников атындағы Радиоэлектроника институты,
Ресей ғылым академиясы, Ресей Федерациясы, Мәскеу қ.;
Қытай-Ресей ақпараттық технологиялар және фракталдық сигналдарды
өңдеу зертханасы, Гуанчжоу университеті, Қытай, Гуанчжоу.
Материал баспаға 07.06.22 түсті.

ФРАКТАЛДЫҚ ИНЖЕНЕРИНГ ЖӘНЕ ФРАКТАЛДЫҚ ИНЖЕНЕРИНГ – ФРАКТАЛДАР ЖӘНЕ ДИНАМИЯЛЫҚ ХАОС ТЕОРИЯСЫНДАҒЫ ЖАҢА ТҮСІНІКТЕР

Бұл мақалада фракталдық Инжиниринг бойынша зерттеулердің аналитикалық шолуы ұсынылған. Қытайда фракталдық инженерия философиясының пайда болу себептері түсіндіріліп, оның пайда болу себептері сипатталған. Автордың фракталдар және олардың инженерлік қосымшалары саласындағы зерттеулерінің нәтижелері, атап айтқанда текстуралық және фракталдық бағыттар бойынша негізгі іргелі зерттеулер көрсетілген. Алғаш рет топологиялық текстуралық-мультифракталдық белгілердің түбегейлі жаңа класы анықталды, бұл текстураның әртүрлі фракталдық қасиеттерін бірлесіп бағалауға мүмкіндік береді. Автор 2019-2021 жылдар аралығында Қытай ғалымдарымен бірге алынған фотоника, радиофотоника, есептеу метаоптикасы және диэлектрлік 2D метаматериалдар немесе есептеу Мета бетінің келесі салаларында маңызды нәтижелер берді. Сондай-ақ, автор поляризацияға сезімтал емес Мета бетінің дизайнын ұсынды. Осы саладағы зерттеулер қазіргі радиофизикада, радиолокацияда, нанотехнологияда және фотоникада топологиялық фракталдық-скейлингтік және текстуралық әдістерді практикалық қолдануды одан әрі дамытуға және негіздеуге, сондай-ақ кеңістіктік-уақыттық радиолокациялық және навигациялық тарату каналында сигналдардың параметрлерін анықтау мен өлшеудің түбегейлі жаңа және дәлірек топологиялық-фракталдық оңтайлы әдістерін жетілдіруге негіз бола алады шашырауы бар толқындар.

Кілтті сөздер: фракталдық инженерия, фракталдық-масштаптау әдісі, текстуралы-мультифракталдық ерекшеліктер, 2D-метаматериал, метабеткей, метаоптика.

**A. A. Potapov*

Kotelnikov Institute of Radioelectronics, Russian Academy of Sciences,
Russian Federation, Moscow;
Joint Sino-Russian Laboratory of Information Technology and
Fractal Signal Processing, Guangzhou University, China, Guangzhou.
Material received on 07.06.22.

FRactal ENGINEERING AND Fractal ENGINEERING – NEW CONCEPTS IN THE THEORY AND PRACTICE OF FRACTALS AND DYNAMIC CHAOS

This article presents an analytical review of research on fractal engineering. The article describes the formation of the philosophy of fractal engineering in China with an explanation of the reasons for its heyday. The results of the author's research in the field of fractals and their engineering applications are shown, in particular, the main fundamental research on textural and fractal directionp. For the first time, a fundamentally new class of topological texture-multifractal features has been defined, allowing for the joint assessment of various fractal properties of a texture. The author presents important results in the following fields of photonics, radiophotonics, computational metaoptics and dielectric 2D metamaterials or computational metasurfaces obtained jointly with Chinese scientists for the period 2019–2021. The author also proposed a design of a metasurface insensitive to polarization. Research in this field can become the basis for further development and justification of the practical application of topological fractal-scaling and texture methods in modern radiophysics, radar, nanotechnology and photonics, as well as in the improvement of fundamentally new and more accurate topological texture-fractal optimal methods for detecting and measuring signal parameters in the space-time radar and navigation propagation channel waves with scattering.

Keywords: fractal engineering, fractal-scaling method, texture-multifractal features, 2D-metamaterial, metasurface, metaoptics.

Теруге 07.06.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2022 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

8,05 Mb RAM

Шартты баспа табағы 8,57. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3960

Сдано в набор 07.06.2022 г. Подписано в печать 30.06.2022 г.

Электронное издание

8,05 Mb RAM

Усл.печ.л. 8,57. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3960

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар к., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университеті» КЕ АҚ

140008, Павлодар к., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz

<https://vestnik-pm.tou.edu.kz/>