

# ОЦЕНКА ТРАФИКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

Л.М. Макаров<sup>1</sup>, С.В. Протасеня<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,

Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: saityvodabur@yandex.ru

## Информация о статье

УДК 519.6

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Макаров Л.М., Протасеня С.В. Оценка трафика телекоммуникационной сети в условиях высокой неопределенности обнаружения семантических признаков // Труды учебных заведений связи. 2017. Том 3. № 4. С. 70–78.

**Аннотация:** В материалах статьи рассмотрена проблема оперативного формирования образа потока событий, в частности, для задач оценки трафика телекоммуникационной сети в условиях высокой неопределенности обнаружения семантических признаков. Рассматриваемую проблему предложено решать методом имитационного моделирования посредством синтеза фрактальных образов, воспроизводимых в реальном масштабе времени на основе массива данных динамического потока событий.

**Ключевые слова:** компьютерное имитационное моделирование, фрактальные конструкции сигнала.

Успехи в сфере естественнонаучных исследований часто получают значительное развитие и понимание в компьютерной области, где широко используются фундаментальные понятия и определения математики. Типичным примером является развитие теории генетических алгоритмов, общий принцип запуска и продолжительного действия которых был изучен на многих видах живых организмов. Наличие определенных проявлений подобия дискретных процессов в различных живых системах породил идею об универсальности природной концепции формирования цепи событий. Обнаруженные явления «повторения» некоторых фрагментов из цепи прошлых событий, активизировал процесс поиска математических конструкций, составляющих основу построения образа состояний сложной динамической системы.

В этом направлении наибольшее распространение получила модель Пуассоновского процесса. Продолжительное время эта модель использовалась в решении практических задач в различных областях науки. С появлением компьютеров, в частности компьютерной техники, терминальных сетей, такая модель лишь приближенно позволяла оценить динамику смены состояний сети. Рассматривая типовые процедуры организации запросов к Серверу, появились понятия: потока со-

бытий и локальных пакетов. Введенные понятия устанавливались на основе инструментальных измерений, которые свидетельствовали, с одной стороны, о наличии подобия набора элементарных событий, а, с другой стороны, о малой эффективности Пуассоновской модели в оценке сетевого трафика.

На этот период наличие компьютеров и математических конструкций анализа обширного списка задач сформировал новые представления об исследовании потоков данных. Поиск решения задачи стал рассматриваться на поле понятий «самоподобных структур», которые в известном смысле могут позиционироваться набором математических правил построения геометрического – визуального образа. Выделяя эти аспекты анализа случайных наборов сигналов, сформировалось представление о возможности использования фрактальных форм.

Действительно, рассматривая реальные природные процессы, несложно обнаружить элементы подобия, соотносимые с целым организмом или с набором дискретных процессов, присутствующих в системе. Так, например, наблюдения за размером листьев на деревьях одного вида, выявляли подобие графических форм, соотносимых с разной продолжительностью развития зеленой

массы и, одновременно с этим, с разной скоростью образования отдельных фрагментов листа. В таком понимании отчетливо просматривался термин конгруэнтности, характеризующий соизмеримость форм, размеров или иных показателей, соотносимых с графическим образом. Оперирование графическим образом позволяет установить не только подобие нескольких процессов, вложенных в общий пакет события, но и оценить, например, соизмеримость пакетов. Во многих прикладных задачах термин конгруэнтности можно рассматривать как динамический показатель взаимной связи простых событий, входящих в пакет сообщения. Естественным развитием этих представлений стали тематические задачи в области телекоммуникации.

Такие представления хорошо согласуются с теоретической основой построения фрактальных образов. Для построения фрактального образа чрезвычайно важно наличие скейлинга – масштабной инвариантности. Фрактал, обладающий скейлингом, создается по некоторому алгоритму, посредством которого формируется математический образ процесса, объекта или явления. Такой образ отличается от привычных объектов евклидовой геометрии и обладает дробной размерностью.

Фрактальная размерность рассматривается как коэффициент, описывающий геометрически сложные формы, для которых детали являются более важными, чем полный рисунок. Фрактальная размерность отличается от обычной топологической размерности. Так, например, топологическая размерность точки соответствует единице, линии – двойке, а объема – тройке. Топологическая размерность всегда задается целым числом и постулирует возможность рассмотрения объекта с учетом пространственных параметров. В этом отношении фрактал позиционирует иной объект. Такой объект представляется возможным рассматривать в разных масштабах, которые фактически не изменяют графический образ объекта, а лишь раскрывают особенности взаимной связи элементов. То, что элементы и сам объект можно представлять в разных масштабах, принимается в качестве постулата. Применительно к области телекоммуникаций такой подход раскрывает новые возможности понимания семантической составляющей сигнала.

Термин «сигнал» располагается на одном поле понятия с такими терминами, как «данные» (*data*) и «информация» (*information*). В семантическом отношении они обладают близкими атрибутами описания, но в тоже время обладают различиями.

Формально понятие информации формируется на конкретных примерах, иллюстративных образах, отражающих многообразие окружающего пространства событий и явлений. В большей части это понятие закрепляется в научных исследовани-

ях, где требуется системно представить и пояснить сложные проявления природных процессов или модельного исследования. Обращение к моделям, способствующим и развивающим базовые познания о наблюдаемых явлениях и процессах, привнесло новые знания, благодаря компьютерным технологиям.

Для компьютерных технологий чрезвычайно важно наличие некоторого массива данных. Термин «данные» происходит от латинского *datum* – факт. Оперирование этим термином формирует понятие некоторой совокупности операций по регистрации фактов, устанавливающих наличие возможности описания некоторого события или процесса. С позиции компьютерных технологий наличие описания некоторого процесса, например, сигнала, задается амплитудно-временной зависимостью. Это условие является необходимым для фиксации исследуемого процесса, но не достаточным для анализа. Позиционирование некоторого массива данных об исследуемом процессе актуализирует проблему анализа. Анализ сигнальных форм является сложной задачей, решение которой может рассматриваться и в терминах фрактальной геометрии.

Положим, имеется начальная выборка дискретных значений сигнала заданной размерности. Идентифицируем выборку в качестве первого пакета сообщения. Следуя представлениям из фрактальной геометрии, увеличение размерности пакета сообщения должно приводить к явлению скайлинга. Проявление этого эффекта накладывает условия на алгоритм формирования пакетов: каждый последующий пакет обладает большей размерностью, чем предыдущий. Это простое и понятное условие выделяет существо проблемы построения фрактального образа, который рассматривается как сложная композиция элементов. Акцентируя внимание на создании композиционного образа из группы элементов, не забываем о явлении скайлинга. Проявление этого явления во всех возможных построениях фрактальных конструкций убедительно свидетельствует о «скрытой связи» элементов в пакете. Расширяя эти представления, постулируем о наличии связи в серии пакетов, которые образовали семантическое сообщение. Сообщение, позиционируемое серией пакетов с разной размерностью, можно идентифицировать по фрактальному образу, и только в том случае, если дискретные элементы пакетов обладают функциональной связью.

Представление о скайлинге способствует лучшему пониманию реализации, передаче и регистрации большого количества телекоммуникационных сигналов. В частности, постулируем, что для абсолютно идентичных сигналов все возможные фрактальные образы конгруэнтны, а количество образов либо конечно, либо бесконечно. В

основе этого постулата находится базовое понятие: семантическое сообщение, представленное набором пакетов, содержит дискретные элементы, обладающие внутренней функциональной зависимостью. Внутренняя структура пакета рассматривается в виде дробной цепи событий. Как правило, такая функциональная зависимость проявляется при построении фрактального образа – графического портрета.

Наличие этих представлений о фракталах позволяет говорить, о дробной размерности фрактала. Понятие о дроби, дробном числе, как некоторой части от целого числа сформировалось в математике достаточно давно. Наряду с общими представлениями о дробях, позиционируемых числителем и знаменателем, можно выделить понятие цепной дроби.

Положим, имеется два целых неотрицательных числа  $n$  и  $k$ . Также полагаем, что для любого  $i \geq 1$  всегда найдется положительное число  $a_i$ , которое является элементом последовательности начинающейся с числа  $a_0$ .

В таком случае конечная  $n$  – элементная цепная дробь представляется выражением:

$$a_0 + \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 \dots}}} = [a_0; a_1; a_2; \dots; a_n] = S_0. \quad (1)$$

Естественно, в случае бесконечной цепной дроби имеем:  $a_n = \infty$ . При условии  $0 \leq k \leq n$ , имеем:

$$[a_0; a_1; \dots; a_k] = S_k, \quad (2)$$

что рассматривается, как часть цепной дроби, то есть исходная дробь  $S_0$  имеет предельное значение ( $a_n \neq \infty$ ). По аналогии введем понятие остатка цепной дроби, которое определяется выражением:

$$S_0 - S_k = S_r. \quad (3)$$

Используя введенные понятия по индукции, постулируем наличие возможности представить цепную дробь в соответствующем виде:

$$[a_0; a_1; a_2; \dots; a_n] = [a_0; r_1] = a_0 + \frac{1}{r_1}. \quad (4)$$

Такая запись означает наличие возможности позиционировать цепную дробь в виде составного элемента, содержащего целую и дробную часть.

В соответствии с установленными понятиями фрактальной геометрии можно проводить скайлинг цепной дроби, реализуемый по выражению:

$$(a_0 + \frac{1}{r_1})h = S_h, \quad (5)$$

где  $h$  – коэффициент масштабирования.

Отмечаем, что увеличение масштаба позиционирования фрактального образа способствует установлению «мелких конструктивных» особен-

ностей. Если в качестве обобщенного объекта рассматривать сообщение, представленное набором пакетов дискретных данных, то построение фрактального образа позволяет выделять особенности отдельных пакетов в общем трафике Сервера.

Общие представления о случайном процессе, в котором можно обнаружить элементы подобия рассматриваются в большом количестве научных исследований по телекоммуникационной тематике [1, 2]. В качестве основы обычно рассматривается итерационный процесс синтеза дискретных пакетов данных, амплитудные значения которых варьируют случайным образом. Так, например, формируется задача о синтезе словоформ [3]. Принимая во внимание различную вероятность встречаемости отдельных букв исходного алфавита, создается словоформа, которая отождествляется с набором дискретных случайных элементов. Расширяя эти представления, можно говорить о трафике сообщений на Сервере, обладающим некоторым фрактальным образом.

Обратимся к рассмотрению понятия случайного процесса, характеризуемого в теории вероятностей семейством случайных величин, индексированных некоторым параметром (временем или амплитудой события).

Функция  $X(t)$  называется случайной, если ее значение при любом аргументе  $t$  является случайной величиной. Случайные значения функции времени определим случайными процессами. Реализацией случайной функции  $X(t)$  (пакетом) называется конкретный набор значений, например, амплитудных, зафиксированных на установленном интервале наблюдения (регистрации). Фиксация случайного процесса на установленном интервале наблюдения, в формате пакета, может рассматриваться как набор дискретных элементов. Совокупность нескольких пакетов случайного процесса будем называть сообщением, которое создано за установленный временной интервал.

В общем случае сообщение может позиционироваться аналоговым или цифровым сигналом. И в том и другом случае в сообщение создается на основе набора фрагментов, которые, например, при цифровой передаче сигналов, отождествляют с пакетами. При этом серия пакетов, передаваемых по сети Интернет, рассматривается как сетевой трафик. Наряду с показателями скорости и объема передаваемой информации, значительный интерес представляет структурный анализ трафика [4]. Такая постановка проблемы хорошо известна в теории анализа сигналов, анализе потока данных.

Структурный анализ сообщения – сложная вычислительная процедура. Наиболее распространен случай, когда информация равномерно распределена по всем пакетам (фрагментам), образующих сообщение. Тогда для выявления наиболее значи-

мых в информационном смысле показателей приходится анализировать весь массив данных.

Наличие в наборе пакетов отдельных семантически не связанных конструкций типично для сложного структурного анализа сигналов. Математические модели и алгоритмы, используемые при анализе структуры сигналов, разнообразны и характеризуются большой сложностью. Выделяя понятие, структура сигнала акцентируется внимание на функциональной связи элементов, а также на возможность существования малоразличимых кластеров элементов внутри пакета или фрагмента сообщения. Следует признать, что такие представления создали обширный класс статистических методов анализа структуры, которые требуют значительных вычислительных затрат и реализуются за большой временной промежуток.

В настоящей работе исследуется базовый сигнал, который рассматривается в паре с наблюдаемым случайным сигналом. В данном подходе воспроизводится представление о фрактальности структуры наблюдаемого сигнала. Это позволяет воспроизвести модель сигнала с учетом наличия малых кластерных групп элементов, обладающих семантической значимостью. При этом, использование методов фрактального построения образа сигнала позволяет значительно уменьшить продолжительность вычислительного процесса. В задаче телекоммуникационного мониторинга решение этой проблемы позволяет своевременно распознать изменение семантического показателя трафика, который можно соотнести с показателем однородности элементов пакета сообщения. Мониторинг семантического показателя трафика, реализованный на представлениях о фрактальной геометрии, позволяет воспроизвести графический образ сигнала, который характеризует структуру пакетов сообщения.

В основе структурного анализа сигнала априорно предполагается, что в сообщении содержится один или несколько пакетов, которые обладают семантической значимостью. Детализируя это представление, признается, что семантическая значимость отдельного пакета или фрагмента сигнала создается группой элементов, образующих пакет или фрагмент сигнала. Накопленный опыт анализа структуры сигналов методами спектрального анализа убедительно свидетельствует в пользу такого тезиса. При этом, принимая во внимание сложность реализации такого подхода на практике, постоянно ведется поиск новых прогрессивных подходов к обнаружению информационно значимых фрагментов сигнала.

Хорошим иллюстративным примером анализа сигнала является поиск информационных фрагментов на однородном случайном массиве. Для такого массива многочисленные математические методы достаточно просто устанавливают нали-

чие «самоподобных фрактальных кластеров» [5]. Систематизация кластеров на временной шкале развертки событий случайного процесса затруднена, по причине отсутствия базовой концепции формирования и связи отдельных элементов массива данных. Однако наличие «самоподобных фрактальных кластеров» свидетельствует о возможности построения фрактального образа, как для «белого шума», так и реального сигнала, полученного в модели и натурном исследовании.

Акцентируя внимание на стационарном (базовом) и нестационарном случайном процессе, представляется актуальным рассмотрение проблемы формирования фрактального образа. Создание алгоритма формирования фрактального образа сообщения в режиме реального времени является основой создания решающего правила обнаружения информационно значимых пакетов и своевременной идентификации потоков сообщений.

Введение в рассмотрение двух канальной конструкции алгоритма обнаружения семантически значимых фрагментов сигнала является каноническим. Представления о канале, воспроизводящем базовый сигнал, традиционно декларируются для случая реализации импульсного режима работы или частотного режима. В соответствии с этим источник сигнала, например, для компьютерной модели, может реализовываться для работы в двух режимах:

– импульсный режим:

$$P_A(t) = A_0 + \alpha q(t), \quad (6)$$

где  $P_A(t)$  – амплитудное значение базового сигнала;  $A_0$  – базовый уровень сигнала (в данном случае, const);  $\alpha$  – коэффициент вариативности базового сигнала;  $q(t) = [0, 1]$  – случайное число в момент времени  $t$ ;

– частотный режим:

$$P_F(t) = F_0(f(\varphi) + \gamma q(t)), \quad (7)$$

где  $P_F(t)$  – амплитудное значение базового сигнала;  $F_0$  – периодическая функция развертки событий на интервале  $[0, 2\pi]$ ;  $\psi$  – коэффициент вариативности базового сигнала;  $q(t) = [0, 1]$  – случайное число в момент времени  $t$ .

Представление о стационарном случайном сигнале хорошо известно в теории коммуникации. Случайные процессы, протекающие во времени приблизительно однородно и имеющие вид непрерывных случайных колебаний вокруг некоторого среднего значения. При этом ни средняя амплитуда, ни характер этих колебаний не обнаруживают существенных изменений с течением времени. Такие случайные процессы относят к категории стационарных процессов.

Так как изменение стационарной случайной функции должно протекать однородно по време-

ни, естественно потребовать, чтобы математическое ожидание было постоянным:

$$m_x(t) = m_x = CONST. \quad (8)$$

Второе условие, которому должна удовлетворять стационарная случайная функция, это условие постоянства дисперсии:

$$D_x(t) = D_x = CONST. \quad (9)$$

Соблюдение условий (8) и (9) представляется несложной задачей в рамках компьютерной модели формирования базового процесса.

Обратимся к процессу фиксации нестационарного случайного процесса. На практике, в телекоммуникационной сети используется устройство – сборщик/разборщик пакетов (PAD, от англ. Packet assembler/disassembler), которое осуществляет преобразование непрерывного символьного потока в пакеты и поддерживает функцию обратного преобразования. Можно рассматривать PAD в качестве базового блока, посредством которого формируется массив элементов нестационарного случайного сигнала.

Рассмотрим структуру модели анализа информационного потока – трафика (рисунок 1). Для определенности рассмотрим импульсный режим работы модели. Опиерируем представлениями о базовом случайном сигнале.

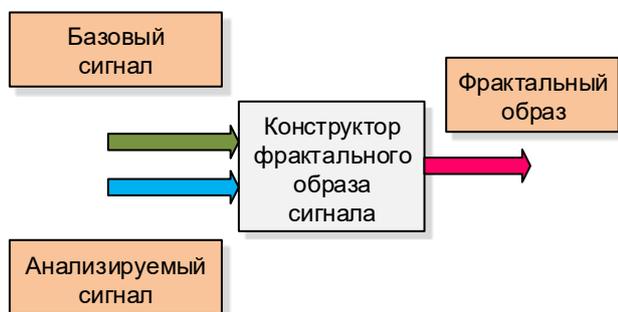


Рис. 1. Структура модели конструктора фрактального образа

Пусть базовый сигнал в компьютерной модели воспроизводится в виде массива данных по выражению:

$$P_Q(t) = hQ_0 + q_i(t_i) + q_{i+1}(t_{i+1}), \quad (10)$$

где:  $1 \leq i \leq k$ ,  $k \in [1, \dots, m]$ ;  $P_Q(t)$  – имитационное амплитудное значение исследуемого сигнала;  $Q_0$  – опорное (базовое) значение сигнала (в данном случае, const);  $h$  – масштабирующий коэффициент;  $q_i(t_i) \in [0, 1]$ ,  $q_{i+1}(t_{i+1}) \in [0, 1]$  – случайная вариативная часть амплитудного значения сигнала на установленный момент времени;  $k$  – размер фрагмента (пакета) сообщения.

В общем случае полагаем, что рассматривается массив элементов, соотносимых с сообщением. В таком массиве представляется возможным неко-

торым способом выделить фрагменты, соотносимые с пакетами. Пакеты сообщения содержат элементы, функциональная взаимная связь которых определяет семантическую значимость пакета. Отметим, что различные модификации выражения (10) позволяют воспроизводить сигналы, обладающие аналитическим описанием, либо сигналы, относимые к категории шум: белый, гауссовский, недетерминированный.

Рассмотрим аддитивную композицию сигналов, реализуемую в компьютерной модели по выражению:

$$P_A(t) + P_Q(t) = W(t). \quad (11)$$

Данное выражение дополняет выражение (10) и одновременно является базовым для создания конструктора фрактального образа сигнала. Для создания серии фрактальных образов следует предусмотреть работу как с одним массивом данных, так и несколькими массивами. Эти представления положим в основу выбора конструктора фрактального образа.

При наличии нескольких источников сигнала представляется возможным посредством конструктора осуществить создание фрактального образа по первому сценарию – провести создание серии фрактальных образов. Кроме того, применение конструктора предусматривает построение обобщенного фрактального образа по нескольким одновременно реализуемым, но независимым процессам.

Для случая работы с одним массивом данных, синтез серии фрактальных образов осуществляется по группе пакетов сигнала. То есть исходный сигнал, позиционируемый набором фрагментов, с установленным массивом элементов, посредством работы конструктора трансформируется во фрактальный образ. Если исходный массив данных не ограничен ( $n \rightarrow \infty$ ), реализуется многокомпонентный фрактальный образ. В этом случае выражение для конструктора записывается в виде:

$$P_A(t_k) + P_Q(t_k) = W(t_k), \quad (12)$$

где:  $1 \leq k \leq n$ .

Реализация процедуры по выражению (12) предусматривает формирование цепи событий, реализуемых в пакете (фрагменте) сообщения по выражению:

$$S(t) = \sum_{k=1}^n W_k(t_k). \quad (13)$$

Для установленной цепи событий вычисляется дисперсия:

$$D_S(t) = \sum \left( \frac{S(t) - S'(t)}{k-1} \right). \quad (14)$$

Параметры,  $S(t)$  и  $D_s(t)$ , характеризующие анализируемый массив данных часто демонстрируют вариативный характер. Другими словами, значения указанных параметров меняются при переходе от одного пакета сообщения к другому. Если такие изменения существенны, то принято говорить о наличии семантической значимости одного или нескольких пакетов в сообщении.

Это условие является необходимым, но недостаточным для выработки суждения о наличии именно сигнала с семантическим содержанием пакетов. Для того чтобы это условие приобрело статус решающего правила необходимо сделать анализ нескольких пакетов сообщения. В этом случае, придавая приращение размеру пакета, реализуется простая процедура:

$$\begin{aligned} k &= k + 1\Delta k; \\ k &= k + 2\Delta k; \\ k &= k + n\Delta k. \end{aligned} \quad (15)$$

На конструкторе инициализируется формирование серии фрактальных образов и набор парных параметров  $S(t)$  и  $D_s(t)$ . Обнаружение в исследуемом массиве данных кластеров (фрагментов сигнала) с семантической значимостью характеризуется «иррациональностью фрактального образа» и характерным изменением значений параметров  $S(t)$  и  $D_s(t)$ . Наиболее часто иррациональность фрактального образа проявляется в нарушении симметрии образа.

Конструктор фрактального образа создается на основе функционала, в котором реализована возможность автоматически устанавливать значения дробного показателя. Дробный показатель, как первичный признак фрактального образа, конструируемого, например, в декартовой системе, позволяет использовать типичные компьютерные вычислительные среды. Выберем в качестве вычислительной среды EXCEL. Относительная простота написания макросов позволяет воспроизвести вариативные фрактальные образы.

Выбор функционала проведем на группе соотносимых объектов, например, окружностей. Типичным функционалом, реализующим сложную плоскую кривую, является уравнение эпициклоиды, где базовыми объектами являются окружности. Эпициклоида позиционируется плоской кривой, которая образуется фиксированной точкой окружности, катящейся по внешней стороне другой окружности без скольжения. Уравнение эпициклоиды запишем в виде:

$$\begin{aligned} X(t) &= (R + r)\cos(t) - r\cos\left(\frac{R+r}{r}t\right), \\ Y(t) &= (R + r)\sin(t) - r\sin\left(\frac{R+r}{r}t\right). \end{aligned} \quad (16)$$

В качестве примера создадим графический образ эпициклоиды:  $R = 45r = 15t = (0,2\pi)$  (рисунок 2).

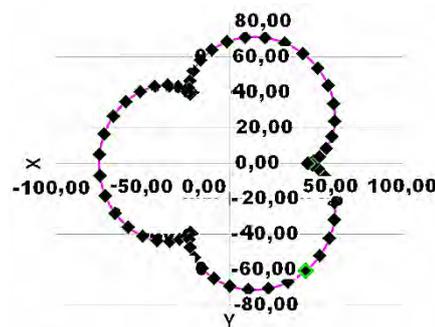


Рис. 2. Эпициклоида  $R = 45, r = 15$

При условии  $R = r$ , имеем образ, который носит название кардиоиды (рисунок 3).

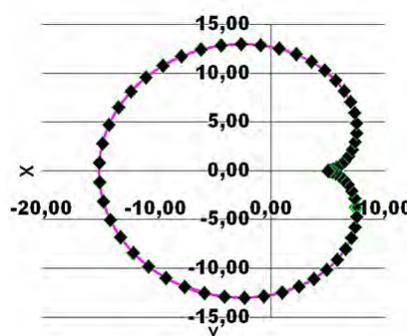


Рис. 3. Эпициклоида (кардиоиды)  $R = 5, r = 5$

Соотношение радиусов окружностей ( $R/r = e$ ) можно рассматривать как дробный показатель фрактала. Естественно, при сохранении размера большого радиуса ( $R$ ) и уменьшении малого радиуса ( $r$ ) синтезируется цепной узор, охватывающий всю наружную границу большой окружности. При больших значениях показателя  $e$  получаем классическую фигуру – окружность с радиусом  $R$ .

Развитие этих суждений согласуются с энтропийными показателями разных по своей природе процессов. Для стабильных детерминированных процессов характерно исполнение условий, реализуемых в выражениях (8) и (9). При этом показатель  $D \rightarrow 0$ , а показатель  $m_x \approx \text{const}$ .

Действительно, процессы с малой долей вариативности обладают устойчивыми показателями средних значений амплитудного сигнала, а также малыми значениями дисперсии. Напротив, процессы, обладающие высоким уровнем вариативности, например, амплитудных значений, порождают массивы данных с переменными значениями среднего значения амплитуды и значительно отличающимися от нулевых значений уровнями дисперсии.

Принимая это во внимание, можно рассматривать эпициклоиду как конструктор фрактального образа, создаваемого с учетом взаимных связей элементов сигнала.

Проведем формирование фрактального образа сигнального случайного процесса. Рассмотрим основные параметры компьютерной модели. Положим, имеется два случайных процесса:  $X_1(t)$  и  $X_2(t)$ , где  $1 < t \leq 27$ . Для иллюстрации введенных понятий воспользуемся выбранной вычислительной средой EXCEL, где применим макрос случайного процесса. Воспроизведем случайные процессы. Результат представим в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Численные значения для двух случайных процессов

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X_2(t)$	0,42	0,99	0,35	0,33	0,53	0,92	0,95	0,88	0,68
t	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$X_1(t)$	0,37	0,23	0,96	0,80	0,07	0,52	0,00	0,61	0,86
$X_2(t)$	0,61	0,83	0,38	0,99	0,51	0,28	0,08	0,89	0,32
t	19	20	21	22	23	24	25	26	27
$X_1(t)$	0,37	0,23	0,96	0,80	0,07	0,52	0,00	0,61	0,86
$X_2(t)$	0,72	0,90	0,73	0,06	0,63	0,57	0,89	0,07	0,80

Воспользуемся понятием аддитивного сигнала (сообщения) и преобразуем исходные данные по выражению (10). Имеем для процесса  $X_1(t)$ :

$$X_{1n}(t) = h_1 x_n(t_n) + x_{n+1}(t_{n+1}) + x_{n+2}(t_{n+2}), \quad (17)$$

где:  $h_1 = 10$ .

Аналогично преобразуем данные процесса  $X_2(t)$ . Получим:

$$X_{2n}(t) = h_2 x_n(t_n) + x_{n+1}(t_{n+1}) + x_{n+2}(t_{n+2}), \quad (18)$$

где:  $h_2 = 20$ .

Формально  $h_1$  и  $h_2$  являются масштабными коэффициентами.

Проведем модификацию элементов сигналов согласно выражению (12). Получим модифицированные дискретные элементы сигналов, представленные в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Дискретные элементы пакетов

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X_{1n}(t)$	10,06	10,03	10,04	10,04	10,09	10,01	10,02	10,06	10,06
$X_{2n}(t)$	21,41	21,34	20,68	20,87	21,45	21,87	21,82	21,56	21,28
t	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$X_{1n}(t)$	10,04	10,02	10,10	10,08	10,01	10,05	10,00	10,06	10,09
$X_{2n}(t)$	21,44	21,21	21,37	21,50	20,78	20,35	20,97	21,21	20,38
t	19	20	21	22	23	24	25	26	27
$X_{1n}(t)$	10,07	10,09	10,07	10,01	10,06	10,06	10,09	10,01	10,08
$X_{2n}(t)$	20,19	21,05	21,56	21,54	21,52	20,76	20,69	21,48	21,25

С учетом выражения (13) создадим аддитивную модель сигнала, амплитудные значения которого представим в серии таблиц 3.

ТАБЛИЦА 3. Амплитудные значения модельного сигнала

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_A(t_k)$	31,47	31,37	30,72	30,91	31,55	31,87	31,84	31,62	31,35
t	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$P_A(t_k)$	31,47	31,24	31,47	31,57	30,79	30,41	30,97	31,27	30,46
t	19	20	21	22	23	24	25	26	27
$P_A(t_k)$	31,17	31,37	30,72	30,81	31,65	31,77	31,84	31,52	31,35
t	28	29	30	31	32	33	34	35	36
$P_A(t_k)$	30,26	31,14	31,64	31,54	31,58	30,81	30,78	31,48	31,33

В соответствии с условием (15) выберем начальный размер пакета  $k = 10$ ,  $\Delta k = 5$ . В результате имеем показатели для четырех серий (фрагментов сигнала) данных ( $k = 10$ ;  $k = 15$ ;  $k = 20$ ;  $k = 25$ ). Вычисленные значения показателей приведем в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4. Расчетные параметры сигнала

$S_i(t)$	$D_1$	$S_2(t)$	$D_2$	$S_3(t)$	$D_3$	$S_4(t)$	$D_4$
31.42	0.134	31.31	0.179	31.19	0.219	31.2	0.207

Модифицируем данные таблицы 4 и приведем их в таблице 5.

ТАБЛИЦА 5. Модифицированные расчетные параметры сигнала

$S_i(t)$	$D_1$	$S_2(t)$	$D_2$	$S_3(t)$	$D_3$	$S_4(t)$	$D_4$
31.42	1,34	31.31	1,79	31.19	2,19	31.2	2,07

Соотнесем расчетные показатели с параметрами эпициклоиды. Полагаем следующее:  $S_i \Rightarrow R_i$  и  $D_i \Rightarrow r_i$ . Построение фрактального образа сигнала проведем на конструкторе, формирующем плоскую кривую – эпициклоиду на интервале  $(0, 2\pi)$ .

Для первого фрагмента сигнала ( $k = 10$ ) формируем фрактальный образ (рисунок 4).

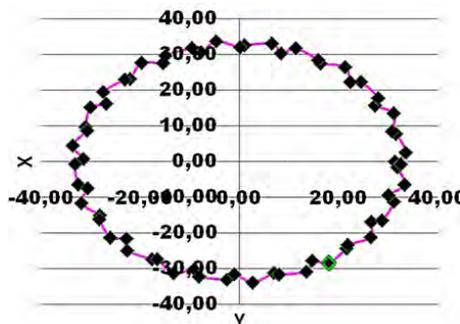


Рис. 4. Фрактальный образ 1-го фрагмента сигнала

Для второго фрагмента ( $k = 15$ ) создаем фрактальный образ, представленный на рисунке 5.

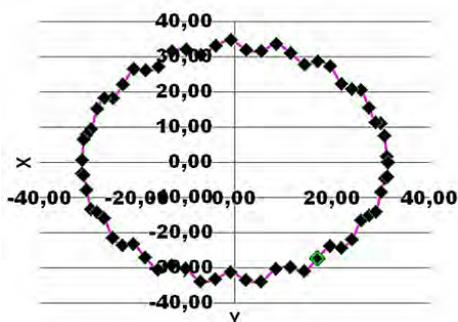


Рис. 5. Фрактальный образ 2-го фрагмента сигнала

Далее, для третьего фрагмента сигнала ( $k = 20$ ) создаем фрактальный образ (рисунок 6).

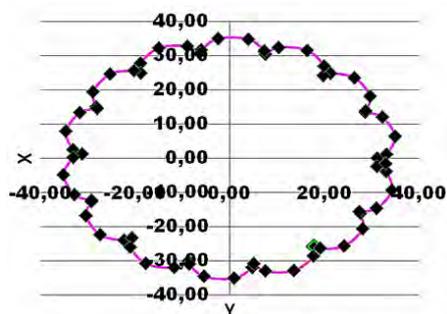


Рис. 6. Фрактальный образ 3-го фрагмента сигнала

На рисунке 7 представлен фрактальный образ, созданный для четвертого фрагмента сигнала ( $k = 25$ ).

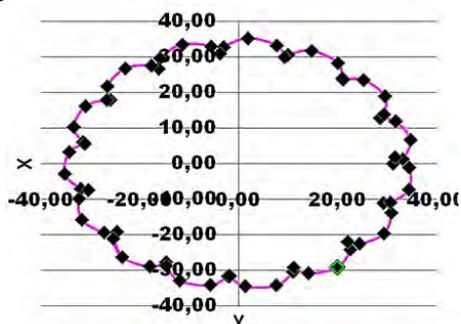


Рис. 7. Фрактальный образ 4-го фрагмента сигнала

Общий фрактальный образ модельного сигнала по четырем фрагментам отображен на рисунке 8.

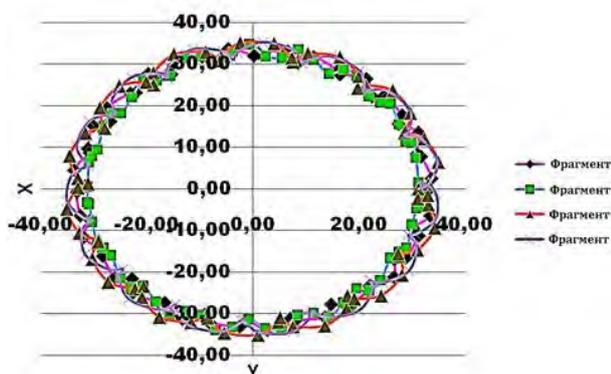


Рис. 8. Общий фрактальный образ сигнала по четырем фрагментам

Концептуальная парадигма фрактального образа постулирует изменение образа сигнала, если в любом фрагменте появляется семантически значимый элемент. В данном случае рассматривается четыре фрагмента. Предположим, что произошло изменение 13-го элемента, в общем массиве данных, представленных в таблице 1.

Изменение 13-го элемента соответствует добавлению 6 единиц. В этом случае наблюдаем изменение фрактального образа сигнала. Результирующий образ представлен на рисунке 9.

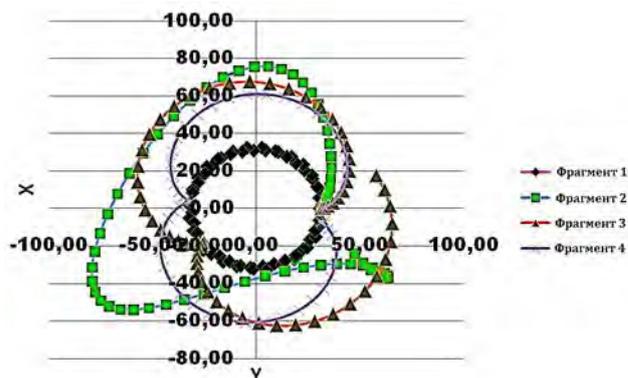


Рис. 9. Фрактальный образ сигнала с модификацией 13-го элемента

По аналогии с рисунком 9 модифицируем 18-ый элемент сигнального массива. Получим фрактальный образ, представленный на рисунке 10.

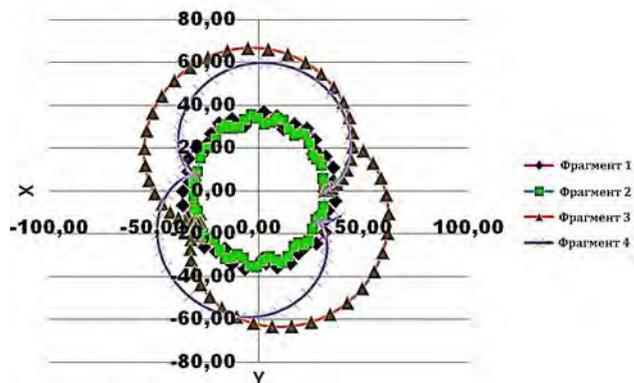


Рисунок 10. Фрактальный образ сигнала с модификацией 18-го элемента

В первом случае (рисунок 9) модификация элементов сигнального набора фактически произошла после первого фрагмента. Поэтому кольцевой овал характерный для первого фрагмента не изменился. Изменение треков образа произошло на втором, третьем и четвертом фрагментах.

Аналогичный результат получен при модификации 18-го элемента сигнального набора данных. Но в этом случае общий образ изменился на третьем и четвертом фрагментах. Первые два фрагмента сигнала не внесли изменений во фрактальный образ. Это справедливо, поскольку границей первого фрагмента является 10 элемент, а границей второго – 15 элемент.

Таким образом, телекоммуникационная сеть, оперирующая понятиями сигнальных пакетов, предоставляет широкие возможности проведения исследований, в том числе и на основе модели фрактальных образов. В рамках классической теории сигналов формулировка аналитических задач обычно рассматривалась с использованием статистических показателей; этот подход сохранен. Расширяя эти представления, с учетом использования современных информационных технологий

позиционирования фрагментов сигнала, на основе фрактальной конструкции построения графического образа, обнаруживается возможность быстрого отслеживания изменения трафика в телекоммуникационной сети. В представленном материале приведены примеры построения модели на основе случайного фрактального процесса, а также тестовые расчеты, которые позволяют установить конгруэнтность фрагментов сигнального пакета.

#### Список используемых источников

1. Федер Е. Фракталы. М.: УРСС Ленанд, 2014. С. 19–35.
2. Абаимов С.Г. Статистическая физика сложных систем. От фракталов до скейлинг-поведения. М.: Либроком, 2016. С. 52–103.
3. Макаров Л.М., Протасеня С.В. Модель графического образа словоформ // Сборник материалов XIII Международной научно-технической конференции (Распознавание – 2017). Курск. 2017. С. 230–232.
4. Макаров Л.М. Оценка энтропии текстового транспаранта // Сборник материалов XIII Международной научно-технической конференции (Распознавание – 2015). Курск. 2015. С. 229–231.
5. Макаров Л.М. Модель текстового контента анализатора // Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. № 4. С. 107–118.

\* \* \*

## COMPUTATIONAL ESTIMATION TRAFFIC OF TELECOMMUNICATION NETWORK IN CONDITIONS OF THE HIGH UNCERTAINTY OF SEMANTIC SIGNS DETECTION

L. Makarov<sup>1</sup>, S. Protasenya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Bonch-Bruевич State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

#### Article info:

Article in Russian

**For citation:** Makarov L., Protasenya S. Computational Estimation Traffic of Telecommunication Network in Conditions of the High Uncertainty of Semantic Signs Detection // Proceedings of Telecommunication Universities. 2017. Vol. 3. Iss. 4. PP. 70–78.

**Annotation:** *The article considers the problem of rapid formation of the image of the stream of events, in particular, for the purposes of traffic of a telecommunication network, in conditions of high uncertainty of detection of semantic features. The considered problem is proposed to solve by means of simulation through a synthesis of fractal images reproduced in real time on the basis of a dataset of dynamic event flow.*

**Keywords:** *computer simulation, fractal signal design.*