

## АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ТРЕНДОВ СИГНАЛОВ

*Горшенков А.А., к.т.н., доцент кафедры ТЭА Омского государственного технического университета (ОмГТУ)*

*Кликушин Ю.Н., д.т.н., профессор кафедры ТЭА ОмГТУ, e-mail: kobra\_vad@rambler.ru*

*Кобенко В.Ю., к.т.н., доцент кафедры ИИТ ОмГТУ, e-mail: iit@omgtu.ru*

**Ключевые слова:** алгоритм, измерение, классификация, обнаружение, сигнал, сортировка, тренд, эталонные последовательности.

### Введение

В задачах цифровой обработки сигналов (ЦОС) часто возникает проблема выявления наличия и количественной оценки временных трендов в исследуемых процессах. Во многих случаях эти тренды определяют развитие либо негативных, либо позитивных тенденций явлений. Своевременное и надежное обнаружение наличия трендов сигналов позволяет оперативно принимать адекватные решения, что особенно важно для задач технической и медицинской диагностики. Большое значение исследованию трендов придается в техническом анализе рынков валюты и ценных бумаг [1].

Известные методы выделения трендов сигналов используют в основном два подхода: фильтрацию и статистическую обработку [2]. При использовании метода фильтрации необходимо знать и задавать параметры (например, коэффициенты передачи и частоты среза) фильтров. Использование же статистических методов предполагает наличие предварительного неформального этапа определения типа тенденции и выдвижения гипотез относительно моделей тренда. При этом алгоритмы статистического усреднения (например, скользящего среднего) предполагают знание статистических параметров сигнала для правильного выбора ширины окна сканирования. В любом случае, условием эффек-

*Предложен алгоритм, предназначенный для решения задач обнаружения, измерения и классификации трендов сигналов. Алгоритм основан на вычислении относительного расстояния между выборочной реализацией исследуемого сигнала и двумя эталонными последовательностями, образованными из исходного сигнала путем его прямой и обратной сортировки. Указанные эталонные последовательности задают левую и правую границы диапазона измерения тренда исследуемого сигнала.*

тивного использования указанных методов является наличие априорных данных об исследуемом сигнале, что далеко не всегда возможно.

В данной работе описан алгоритм, который, во-первых, не требует предварительных знаний характеристик процесса. Во-вторых, позволяет не только обнаруживать тренд, но также измерять его «силу» и проводить классификацию.

### Описание алгоритма

Идея предлагаемого алгоритма основана на вычислении относительного расстояния между тремя списками, названными авторами прямым (Direct List), обратным (Reverse List) и измерительным (Measurement List) и образованными из исходной выборочной реализации сигнала  $X(t)$ , объема  $N$ . Первый список (Direct List) получается путем сортировки значений ( $X_i$ ) выборочной реализации сигнала по возрастанию, а обратный (Reverse List) – по убыванию. Измерительный список (Measurement List) представляется самой выборочной реализацией сигнала.

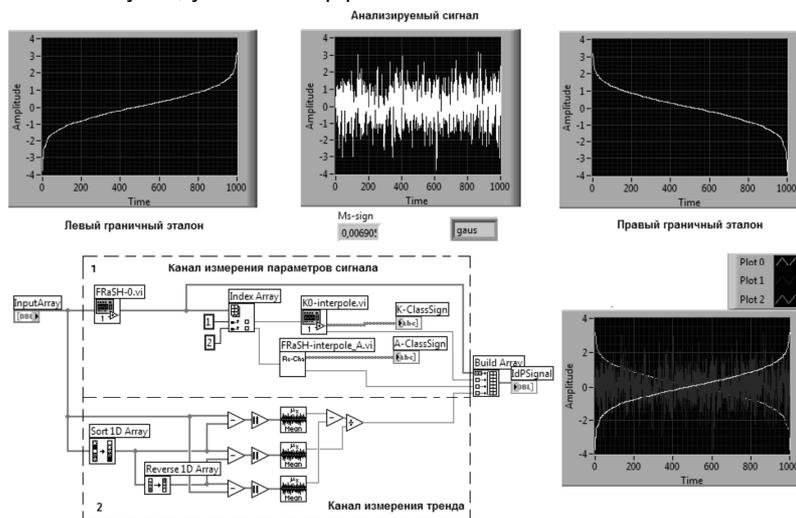


Рис. 1. Иллюстрация идеи измерения тренда сигналов

На рис. 1 данная идея поясняется изображением компонент алгоритма и его программным кодом, выполненным в среде LabVIEW. Упорядоченные списки (Direct List и Reverse List) образуют, соответственно, левый и правый граничные последовательности, между которыми располагается выборка анализируемого сигнала. На нижнем дисплее изображено их совместное представление. Количественно тренд оценивается величиной ( $M_s$ ), равной отношению расстояния между анализируемым сигналом и его упорядоченными граничными эталонами. Алгоритм вычисления этого расстояния представлен на рис. 2, где  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d$  – расстояния между указанными списками, определяемые через сумму абсолютных разностей значений отсчетов, находящихся в одинаковых ячейках. Физический смысл меры относительного расстояния  $M_s$  заключается в том, что оно характеризует степень неупорядоченности (хаотичности) измерительного списка по отношению к упорядоченным прямым и обратным спискам (шкалам). Подобный подход к задачам измерения был описан, например, в работах [3, 4].

$$d_1 = \sum |r_d - r_m| \quad d = \sum |r_d - r_r| \quad d_2 = \sum |r_r - r_m|$$

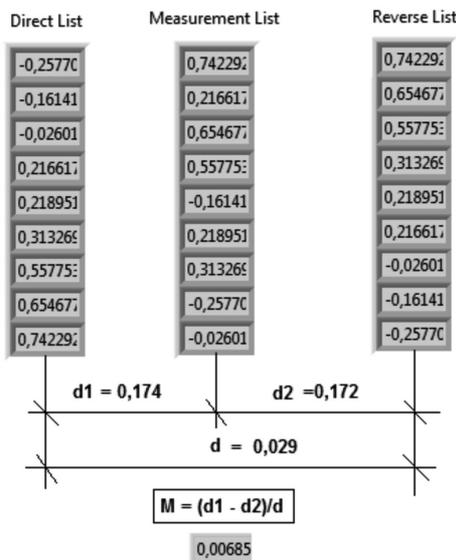


Рис. 2. Алгоритм оценки «силы» трендовой компоненты сигнала

Исследование данного алгоритма в отношении разнообразных сигналов позволило постулировать несколько правил.

Первое классификационное правило для трендов формулируется следующим образом: «Если  $M_s \approx 0$ , тренд отсутствует. Если  $M_s \approx -1$ , имеет место монотонно возрастающий тренд с закономерностью левой границы. Если  $M_s \approx 1$ , имеет место монотонно убывающий тренд с закономерностью правой границы».

Второе классификационное правило определяет вид закономерности возрастания или убывания тренда и выражается именем распределения мгновенных значений анализируемого сигнала. Даже при отсутствии тренда ( $M_s \approx 0$ ) имя распределения существует и определяется путем идентификационных измерений. В частности, на рис. 1 показан сигнал, имеющий

нормальное (имя «gaus») распределение мгновенных значений.

В соответствии с данными работы [5], можно различить 8 основных типов трендов: двумодальный (2mod), арксинусный (asin), равномерный (even), трапецеидальный (trap), треугольный (simp), нормальный (gaus), двухсторонний экспоненциальный (lapl) и Коши (kosh).

Третье правило относится к условию сравнения сигналов. Оно может быть записано следующим образом: «Если два сигнала имеют одинаковую силу тренда ( $M_{s1} \approx M_{s2}$ ), но разные виды закономерности (имя 1  $\neq$  имя 2), то сигналы – разные. Иначе (имя 1 = имя 2;  $M_{s1} \neq M_{s2}$ ), сигналы – похожи». Отсюда следует, что сравнивать, в первую очередь, надо сигналы одного типа, т.е. с одинаковыми распределениями мгновенных значений.

На рис. 3 показан пример сравнения трех фрактальных сигналов с одинаковым показателем Херста, равным  $H = 1$ . Сравниваемые сигналы (средний столбец дисплеев) подобраны так, чтобы их тренды охватывали полный диапазон измерения - от левой до правой границ, отображенных в левом и правом столбцах, соответственно. Все сигналы имеют одинаковое распределение мгновенных значений, но разные количественные оценки «силы» тренда. Например, верхний сигнал имеет явный убывающий тренд, практически полностью ( $M_s \approx 0,98$  или на 98%) совпадающий с правой границей. Нижний сигнал, наоборот, обладает тенденцией к возрастанию ( $M_s \approx -0,949$ ) и потому почти на 95% совпадает с левой границей трендового диапазона.

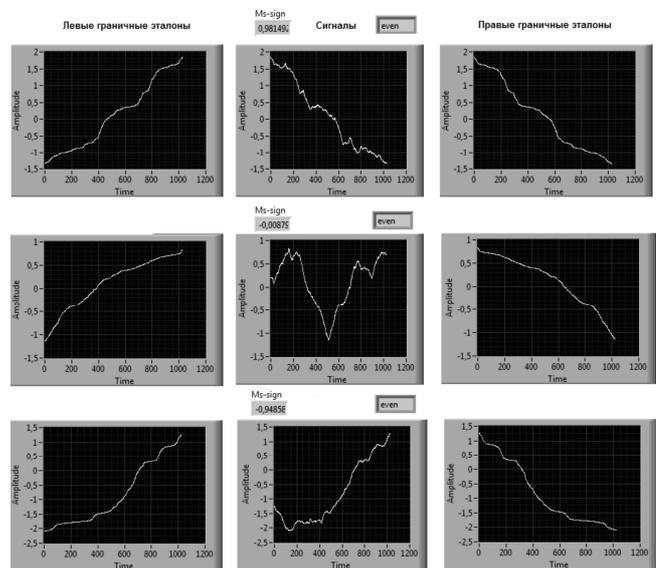


Рис. 3. Пример сравнения трендов фрактальных сигналов

Что касается среднего сигнала, имеющего выраженную переменную компоненту («колебательность»), то показатель «силы» тренда этого сигнала оказывается близким к нулю ( $M_s \approx -0,009$ ). Однако, это не означает, что тренд вообще отсутствует – за время наблюдения ( $N = 1024$ ) конечное значение сигнала увеличилось по сравнению с начальным (с 0,2 до 0,6), что, возможно, говорит о наличии некоторой возрастающей тенденции.

Для полноты исследования было изучено поведение

алгоритма при анализе периодических сигналов. В табл. 1 представлены некоторые характерные данные, указывающие на присутствие двух закономерностей: зависимости показателя «силы» ( $M_s$ ) от начальной фазы и частоты периодических сигналов.

Таблица 1.  
Результаты анализа тренда периодических сигналов

№ n/n	Сигнал	P – количество периодов за время наблюдения N = 1000		
		1	10	100
1	Sin	0,75	0,05	0,005
2	Cos	0,0025	0,0016	0
3	Tri	0,67	0,05	0,005
4	Squ	1	0,006	0
5	Saw	0,5	0,029	-0,01

В качестве примера на рис. 4 показаны зависимости показателя тренда ( $M_s$ ) от сдвига (Shift) синусоидального и косинусоидального сигналов в диапазоне от 0 до  $0,5N$ , где  $N$  – объем выборки (частота = 1). Полученные данные позволяют ввести аналитическое описание зависимости показателя тренда от сдвига фаз для сигналов  $\sin - \cos$ :

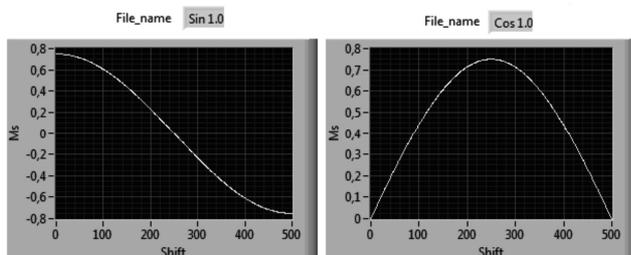


Рис. 4. Зависимости трендового показателя от сдвига фаз для пары сигналов  $\sin - \cos$

## Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Предложенный алгоритм является универсальным алгоритмом измерения, поскольку, во-первых, не требует априорных знаний об исследуемом процессе. Во-вторых, алгоритм использует модель измерения неупорядоченности (хаоса), как всеобщей меры состояния сложных объектов и процессов. В-третьих, для реализации процедур измерения не требуется никаких специальных шкал – эти шкалы (списки) формируются непосредственно из отсчетов исследуемого процесса.

Предложенная мера «силы» тренда на самом деле является комплексным показателем соотношения колебательности и тренда исследуемого сигнала: колебательность максимальна, когда тренд равен нулю и наоборот. Именно поэтому стационарные случайные сигналы можно классифицировать как «колебательные», а фрактальные – как «трендовые». В периодических сиг-

налах имеется возможность управлять границей перехода из класса «трендовых» (на низких частотах) в класс «колебательных» (на высоких частотах) с помощью задания частоты колебаний.

Алгоритм использует автоматическую классификацию типов тренда, устанавливая правила сравнения сигналов между собой.

Представленные в данной работе материалы получены при выполнении научно-исследовательской работы «Проведение поисковых научно-исследовательских работ в области разработки и создания оборудования для диагностики и эксплуатации энергетического оборудования» по государственному контракту №16.516.11.6091.

## Литература

1. Трендовый анализ // Сайт: Форекс. Блог независимых аналитиков МОФТ. <http://profianalytics.com/?p=1459>. Дата обращения 10.04.2012.
2. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник / Под ред. чл.-корр. РАН И.И. Елисеевой. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2001. - 480 с.
3. Горшенков А.А. Системный подход к описанию свойств МТШ-90 / А.А. Горшенков, В.А. Захаренко, Ю.Н. Кликушин, С.А. Орлов. – Измерительная техника, № 8, 2011, с. 34-38.
4. Кликушин Ю.Н. Лингвистическая модель измерений // Интернет публикация. – Прага: НТК Дни Науки, 27.03-05.04.2012, т. 0. 2012. [http://www.rusnauka.com/10\\_DN\\_2012/Tecnic/6\\_102219.doc.htm](http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Tecnic/6_102219.doc.htm)
5. Горшенков А.А., Кликушин Ю.Н. Представление моделей сигналов в системе идентификационных параметров // Интернет публикация. – М.: Журнал Радиоэлектроники, ИПЭ РАН, № 9 (сентябрь), 2010. – <http://jre.cplire.ru/>

## ALGORITHM OF DETECTION, MEASUREMENT AND CLASSIFICATION OF SIGNALS TRENDS

*Gorshenkov A.A., Klikushin J.N., Kobenko V.Y.*

The algorithm is designed to meet the challenges of detection, measurement and classification of trend signals. The algorithm is based on the calculation of the relative distance between a sample implementation of the signal and the two reference sequences, formed from the original signal through its forward and reverse sorting. These reference sequences define the left and right boundaries of the measurement range of the signal trend.