

17. Алгулиев, Р. М. Комплексование измерений для идентификации траектории полета летательного аппарата [Текст] / Р. М. Алгулиев, Г. Г. Оруджов, Э. Н. Сабзиев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012. – № 2 (131). – С. 57–60.
18. Кулявец, Ю. В. Об'єднання надлишкової інформації з метою просторового моніторингу довкілля [Текст] / Ю. В. Кулявец, О. І. Богатов, О. А. Єрмакова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – Т. 6, № 9 (66). – С. 36–39. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/18933/17043>
19. Тихонов, В. И. Статистическая радиотехника [Текст] / В. И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1982.
20. Мирский, Г. Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов [Текст] / Г. Я. Мирский. – М.: Энергия, 1972. – 456 с.
21. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных [Текст] / под ред. П. А. Агаджанова, В. Е. Дулевича, А. А. Коростелева. – М.: Сов.радио, 1969. – 504 с.
22. Рао, С. Р. Линейные статистические методы и их применение [Текст] / С. Р. Рао; под. ред. Ю. В. Линника; пер. с англ. – М.: Наука, 1968. – 574 с.
23. Мирский, Г. Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения [Текст] / Г. Я. Мирский. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
24. Красногоров, С. И. Матричный анализ в задачах отыскания экстремумов [Текст] / С. И. Красногоров. – Ногинск: Научно-исследовательский центр 30 ЦНИИ МО, 1998. – 100 с.

У даній роботі пропонується алгоритм усунення аномалій при вимірюванні сигналів у процесах, що протікають в умовах невизначеності. Запропоновано математичну модель представлення довільного сигналу, параметри якої розраховані для набору стандартних уявлень складають основу сформованої бази еталонів. На основі аналізу сформованої бази еталонів сигналів доводиться можливість застосування даної моделі для усунення аномалій в поточному сигналі

Ключові слова: часові ряди, нечітка логіка, база знань, класифікація аномалій, тензометрія

В данной работе предлагается алгоритм устранения аномалий при измерении сигналов в процессах, протекающих в условиях неопределенности. Предложена математическая модель представления произвольного сигнала, параметры которой, рассчитанные для набора стандартных представлений, составляют основу сформированной базы эталонов. На основе анализа сформированной базы эталонов сигналов доказывается возможность применения данной модели для устранения аномалий в текущем сигнале

Ключевые слова: временные ряды, нечеткая логика, база знаний, классификация аномалий, тензометрия

УДК: 004.89

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.44166

ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АНОМАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н. Б. Копытчук

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: knb47@mail.ru

П. М. Тишин

Кандидат физико-математических наук, доцент*

E-mail: tik88@mail.ru

И. Н. Копытчук

Старший преподаватель*

E-mail: igor.kopytchuk@gmail.com

И. Г. Милейко

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: mig3@ukr.net

*Кафедра компьютерных интеллектуальных систем и сетей
Одесский национальный политехнический университет
пр. Шевченко, 1а, г. Одесса, Украина, 65044

1. Введение

Использование экспертных оценок широко распространено в анализе процессов в сложных технических, экономических и социальных системах. Модели нечеткого подхода, рассматривающие временные ряды (ВР)

как реализацию нечеткого динамического процесса, получили название нечетких ВР [1–3].

Нечеткое моделирование временных рядов представляет новую научную область, специфика которой по отношению к статистическому и нейросетевому моделированию ВР определяется нечеткими значе-

ниями, а по отношению к нечетким моделям – более сложной организацией вычислений.

Семантически значимая интерпретация значений ВР, относящаяся как к его значениям, так и к временным моментам, выраженная в нечетких лингвистических оценках, зависит от сущности и контекста свойств наблюдаемого объекта, а также от восприятия эксперта, выполняющего интерпретацию [4, 5].

Прикладной аспект проблематики анализа нечетких временных рядов определяется возможностью расширения множества задач обработки ВР, множества технологий их решения за счет оперирования не только количественной, но и качественной информацией.

Так, тестирование качества процессов протекающих в сложных вычислительных системах на практике нередко сводится к измерению параметров производительности системы при различных значениях параметров поступающей нагрузки.

Для проектировщиков результаты тестирования удобно интерпретировать в терминах экспертных оценок значений <низкий>, <высокий>, <скачок> и классифицировать процессы по тенденциям <рост>, <падение>, <стабильность> и т. д.

Такие оценки не учитывают незначительные изменения и могут описывать поведение системы в виде лингвистических временных рядов.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Анализ лингвистических рядов и их тенденций формальными методами позволит оценить эффективность тестируемой системы, извлечь качественные зависимости, использовать их в задачах прогнозирования для повышения обоснованности принятия технических решений.

Задача поиска и обнаружения аномалий в процессах является актуальной в широком диапазоне сфер применения: экология, электронная коммерция, анализ технологических процессов, надежность технических и информационных систем [6, 7].

При решении данной задачи с целью диагностики процессов, интерпретированных временными рядами (ВР), целесообразно применять методы, основанные на поиске аномалий в поведении ВР. Так как ВР обычно отображаются графиками, то процесс обнаружения аномалий обычно заключается в наблюдательной деятельности эксперта по обнаружению типичных или нетипичных значений.

Обычно задача обнаружения аномалий на временных рядах (ВР) возникает в связи с пропуском значений или появлением значений, выходящих за пределы диапазона допустимого интервала. Однако эти подходы не учитывают аномалии, связанные с нарушением поведения ВР.

Задача поиска и обнаружения аномалий на временных рядах Согласно обзору [7], поиск и обнаружение аномалий на ВР рассматриваются как совокупность задач обнаружения аномалий на всем ВР, на участке ВР или в отдельной точке ВР.

В работе [8] предложен алгоритм поиска и обнаружения аномалий на ВР, который успешно внедрен и применяется в процессе экспертного анализа параметров космических челноков NASA.

В работе [9] все множество значений ВР разбивается на несколько уровней, каждому из которых сопоставляется символ заданного конечного алфавита. В этом случае для поиска и обнаружения аномалий используется скользящее окно и сравнение с ВР, характеризующим нормальное поведение процесса. Данный алгоритм использовался для анализа ВР данных ЭКГ, мониторинга телеметрии космического челнока, видеопотоков и т. д.

Работа [10] посвящена изложению теоретических и практических вопросов в области моделирования нечетких тенденций и анализа временных рядов. Данная проблематика тесно связана с задачами извлечения знаний из временных рядов (Times Series Data Mining) на основе интеллектуальных технологий. В ней рассматриваются основные подходы к анализу временных рядов, обозначается и решается задача определения нового объекта анализа – нечетких тенденций. Приводятся классификация нечетких тенденций, алгоритмы сегментации, классификации, прогнозирования временных рядов на основе моделей нечетких тенденций.

В работах [7, 11] приведены модели и алгоритмы поиска и обнаружения аномалий на ВР, такие как:

1. Статистические модели.
2. Нечеткие модели.
3. Скрытые Марковские процессы.
4. Кластеризация и классификация.
5. Метод скользящих окон.

В работах [12–14] подходы, связанные с обработкой нечетких ВР применялись при обработке сигналов полученных в тензометрических системах.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка алгоритма устранения аномалий при обработке сигналов полученных в тензометрических системах.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- построить математическая модель стандартного представления произвольного сигнала;
- показать, что построенная математическая модель стандартного представления произвольного сигнала, может применяться для описания набора сигналов без аномалий;
- с помощью эксперта сформировать базу эталонов, которая представляется наборами значений параметров математической модели;
- сформулирована задача восстановления сигналов с аномалиями, с использованием сформированной базы эталонов;
- разработать алгоритм устранения аномалий при обработке сигналов полученных в тензометрических системах с применением сформировать базу эталонов.

4. Математическая модель произвольного стандартного представления

Предположим, что сигнал представлен в виде

$$S = \{S_i, t_{i=1}^n\}, \quad (1)$$

где n – количество отсчетов в сигнале, i – номер отсчета, t_i – время получения i -ого отсчета и S_i – значение i -ого отсчета.

Вводя в рассмотрение вектор $x = \{x_i\}_{i=1}^{25}$, элементы которого определяются некоторым стандартным образом, а также вектора S_n, T_n , элементы которых определяются соотношениями

$$S_n = (S_i - S_{\min}) / (S_{\max} - S_{\min}),$$

$$T_n = (t_i - t_{\min}) / (t_{\max} - t_{\min}); \quad (2)$$

в которых через S_{\max}, S_{\min} обозначены максимальное и минимальное значение в наборе $\{S_i\}_{i=1}^n$, а через t_{\max}, t_{\min} обозначены максимальное и минимальное значение в наборе $\{t_i\}_{i=1}^n$.

Тогда для любого сигнала представленного формулой (1) используя соотношения (2), можно определить вектор

$$DS_i = L(x_i, S_n, T_n), \quad i = 1, \dots, 25. \quad (3)$$

где $L(x, S_n, T_n)$ интерполяционный полином в котором узлы определяются векторами S_n, T_n .

Определение 1. Пусть дан сигнал S заданный формулой (1). Тогда стандартным представлением DS сигнала S называется вектор элементы которого определяются соотношениями (3).

Математическая модель произвольного стандартного представления $\{z_i, t_i\}_{i=1}^{2n+1}$, предлагается искать в виде:

$$z_i = s_i + s_{\text{zad}} + e, \quad i = 1, \dots, 2n+1, \quad (4)$$

где e – помехи, распределенные по нормальному закону, а s_{zad} – некоторый неизвестный произвольный параметр, причем относительно выбранного стандартного представления (4) он определяется однозначно.

В математической модели (4) предполагается, что вектор значений $\{t_i\}_{i=1}^{2n+1}$ будет определяться следующими соотношениями:

$$t_i = \begin{cases} t_0 + \frac{T(i-1)}{3p_0}, & i = 1, \dots, p_0 + 1, \\ t_0 + \frac{T(i+p_1-p_0-1)}{3p_1}, & i = p_0 + 2, \dots, p_1 + p_0 + 1, \\ t_0 + \frac{T(i+2n-3p_1-3p_0-1)}{3(n-p_1-p_0)}, & i = p_1 + p_0 + 2, \dots, n+1, \end{cases} \quad (5)$$

$$t_{2n+2-i} = \begin{cases} t_0 + \frac{T(6p_0-i+1)}{3p_0}, & i = 1, \dots, p_0 + 1, \\ t_0 + \frac{T(5p_1-i+p_0+1)}{3p_1}, & i = p_0 + 2, \dots, p_1 + p_0 + 1, \\ t_0 + \frac{T(4n-3p_1-3p_0-i+1)}{3(n-p_1-p_0)}, & i = p_1 + p_0 + 2, \dots, n+1, \end{cases} \quad (6)$$

где t_0, T – некоторые неизвестные произвольные параметры, причем относительно выбранного стандартного представления (4) они также определяются однозначно.

В завершении описания модели (4) отметим, что вектор значений $\{s_i\}_{i=1}^{2n+1}$ в ней определяется зависимостями

$$s_i = s_{2n+2-i} = \begin{cases} f(y_0, y_1, p_0, i-1), & i = 1, \dots, p_0 + 1, \\ f(y_1, y_2, p_1, i-p_0-1), & i = p_0 + 2, \dots, p_1 + p_0 + 1, \\ f(y_2, y_3, n-p_1-p_0, i-p_0-p_1-1), & \\ i = p_1 + p_0 + 2, \dots, n+1, \end{cases} \quad (7)$$

где

$$f(f_1, f_2, p, i) = f_1 \frac{p-i}{p} + f_2 \frac{i}{p},$$

а y_0, y_1, y_2, y_3 – некоторый набор неизвестных произвольных параметров, который относительно выбранного стандартного представления (4) также определяется однозначно.

Таким образом, можно сделать вывод, что модель произвольного стандартного представления $\{z_i, t_i\}_{i=1}^{2n+1}$, в общем случае зависит от набора параметров

$$P = \{s_{\text{zad}}, t_0, T, y_0, y_1, y_2, y_3\}, \quad (8)$$

и e – помеха, определенная соответствующей нормальной функцией распределения.

Набор параметров P , в свою очередь, при дальнейшем рассмотрении будем представлять в виде объединения двух наборов

$$P = P_{\text{const}} \cup P_{\text{value}},$$

где $P_{\text{const}} = \{y_0, y_1, y_2, y_3\}$ – параметры определяющие вектор значений $\{s_i\}_{i=1}^{2n+1}$ по формулам (7), а $P_{\text{value}} = \{s_{\text{zad}}, t_0, T\}$ – параметры определяющие вектор значений $\{t_i\}_{i=1}^{2n+1}$ по формулам (5)–(6).

Для обоснования данной модели экспертным путем выбраны четыре класса стандартных представлений сигнала и их эталонов, которые сведены в табл. 1.

Таблица 1
Выбранные классы стандартных представлений в сигнале

N	$v_T[S(m)]$	$v_U[d, j]$	$v_D[d, j]$	Количество сигналов	Количество эталонов
1	МНС	BC	HC	89	5
2	HC	C	C	120	2
3	C	HC	BC	87	3
4	BC	HC	BC	32	3

В табл. 2 сведены все эталоны которые существуют в наборах представленных в табл. 1.

Рассмотрим сначала эталоны стандартных представлений сигнала третьей группы из табл. 1. Данным эталонам соответствуют строки 1–3 табл. 2.

Для каждого эталона стандартного представления сигнала представленного на рис. 1 были найдены соответствующие параметры $P_{\text{const}} = \{y_0, y_1, y_2, y_3\}$ – определяющие вектор значений $\{s_i\}_{i=1}^{2n+1}$ по формулам (7), а также параметры $P_{\text{value}} = \{t_0, T\}$ – определяющие вектор значений $\{t_i\}_{i=1}^{2n+1}$ по формулам (5)–(6). Данные параметры приведены в табл. 3.

Таблица 2

Эталоны стандартных представлений сигнала, описанных в табл. 1

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	N
1	0,53	0,69	0,84	0,91	0,96	0,99	1,00	0,98	0,95	0,89	0,83	0,67	0,51	3
2	0,58	0,73	0,87	0,93	0,97	0,99	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	0,74	0,59	3
3	0,44	0,62	0,80	0,88	0,94	0,98	0,99	0,98	0,93	0,86	0,78	0,60	0,42	3
4	0,39	0,53	0,69	0,77	0,85	0,92	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,56	0,41	1
5	0,41	0,57	0,73	0,79	0,86	0,93	1,00	0,90	0,80	0,70	0,59	0,41	0,27	1
6	0,46	0,62	0,77	0,83	0,89	0,94	1,00	0,94	0,88	0,82	0,77	0,61	0,45	1
7	0,52	0,66	0,77	0,83	0,89	0,94	1,00	0,92	0,83	0,75	0,67	0,50	0,37	1
8	0,28	0,42	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	0,93	0,85	0,78	0,71	0,54	0,37	1
9	0,64	0,78	0,90	0,94	0,98	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	0,71	0,56	4
10	0,49	0,67	0,82	0,90	0,95	0,99	1,00	0,98	0,95	0,88	0,80	0,63	0,45	4
11	0,54	0,70	0,85	0,91	0,96	0,99	1,00	0,98	0,95	0,90	0,84	0,68	0,52	4
12	0,55	0,71	0,86	0,91	0,94	0,97	1,00	0,97	0,94	0,90	0,83	0,69	0,54	2
13	0,47	0,64	0,82	0,89	0,93	0,97	1,00	0,96	0,93	0,88	0,80	0,62	0,46	2

Таблица 3

Параметры математической модели эталонов стандартных представлений сигнала из группы 3 в табл. 2

P	$P_{const} = \{y_0, y_1, y_2, y_3\}$				$P_{value} = \{t_0, T\}$	
	y_0	y_1	y_2	y_3	t_0	T
1	0.05	0.84	0.96	1	0.496	0.347
2	0	0.83	0.96	1	0.499	0.410
3	0.1	0.85	0.96	1	0.498	0.291

Для того чтобы оценить, насколько совпадают графики эталонов стандартных представлений и графики, полученные по математической модели с параметрами, приведенными в табл. 3, на рис. 1 приведены данные графики попарно.

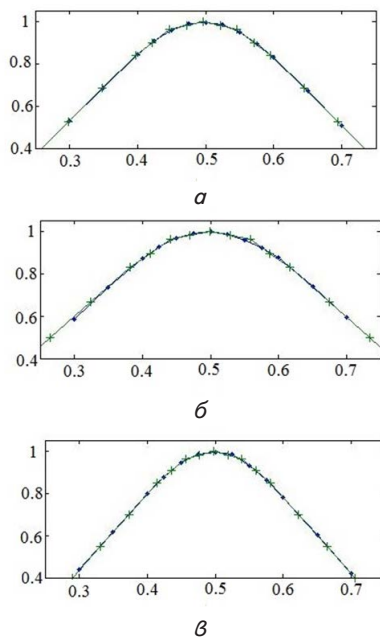


Рис. 1. Сравнение эталонов стандартных представлений и математической модели для третьей группы: а – график 1 эталона из таблицы 3: · – рассчитанного по модели, + – построенного по экспериментальным данным; б – график 2 эталона из таблицы 3: · – рассчитанного по модели, + – построенного по экспериментальным данным; в – график 3 эталона из таблицы 3: · – рассчитанного по модели, + – построенного по экспериментальным данным

Рассмотрим теперь эталоны стандартных представлений сигнала для второй группы из табл. 1. Данным эталонам соответствуют строки 12–13 табл. 2.

Для каждого эталона стандартного представления сигнала были найдены соответствующие параметры $P_{const} = \{y_0, y_1, y_2, y_3\}$ – определяющие вектор значений $\{s_i\}_{i=1}^{2n+1}$ по формулам (7), а также параметры $P_{value} = \{t_0, T\}$ – определяющие вектор значений $\{t_i\}_{i=1}^{2n+1}$ по формулам (5)–(6). Данные параметры приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры математической модели эталонов стандартных представлений сигнала из группы 2 в табл. 2

P	$P_{const} = \{y_0, y_1, y_2, y_3\}$				$P_{value} = \{t_0, T\}$	
	y_0	y_1	y_2	y_3	t_0	T
12	0.1	0.85	0.94	1	0.497	0.304
13	0.05	0.83	0.94	1	0.497	0.367

4. 2. Задача о восстановлении стандартного представления

На рис. 1 приведены графики эталонов стандартных представлений сигнала для третьей группы сигналов описанных в табл. 1. Поскольку данные эталоны представляют некоторое достаточно представительное множество сигналов, то для данных эталонов предполагается, что они представляют форму сигнала, которая была бы при наблюдениях в идеальных условиях.

В то же время существует большой класс эталонов, относительно которых такое предположение не верно. Для примера приведем случай, когда лингвистическая переменная $v_T[S(m)]$ принимает значение термина 'HC', а $v_U[d,j] = 'HC'$ и $v_D[d,j] = 'BC'$. К этому классу стандартных представлений сигнала, было отнесено 68 стандартных представлений сигнала, по которым были определены три эталона описывающих данные. Графики данных эталонов приведены на рис. 2.

Эталоны, представленные на рис. 2, отображают представительное множество сигналов, но для данных эталонов экспертным путем сделан вывод, что они представляют форму сигнала, которая претерпела аномальное изменение.

При решении задачи восстановления эталонов стандартных представлений сигнала будем использовать математическую модель произвольного стандарт-

ного представления $\{z_i, t_i\}_{i=1}^{2n+1}$, которая определяется соотношениями (4)–(7).

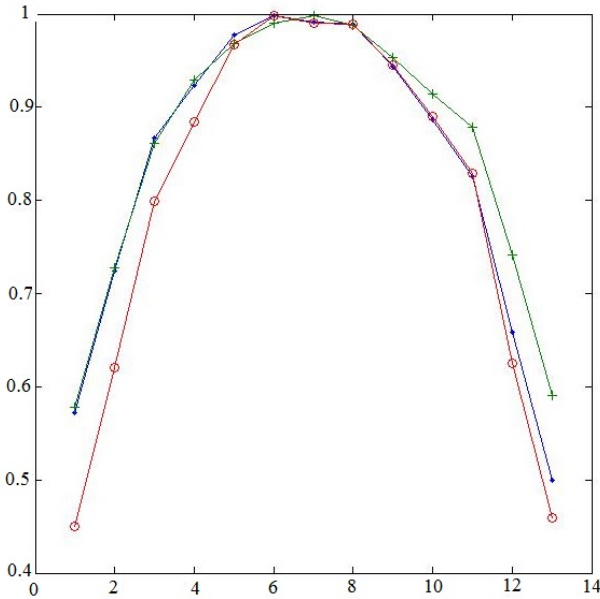


Рис. 2. Графики эталонов в случае, когда лингвистическая переменная $v_1[S(m)]$ принимает значение термина 'НС', $v_U[d, j]='НС'$ и $v_O[d, j]='BC'$

В общем случае модель зависит от набора параметров

$$P = \{s_{zad}, t_0, T, y_0, y_1, y_2, y_3\},$$

определяемых соотношением (8) и e – помехи, определенной соответствующей нормальной функцией распределения.

Задача о восстановлении стандартного представления состоит в следующем наборе подзадач:

1. Определить параметр $t_0 \in P_{value}$.
2. Выбрать множество точек в стандартном представлении, по которым будет решаться задача восстановления стандартного представления.
3. Определить параметр $T \in P_{value}$, что позволяет определить набор параметров $P_{value} = \{t_0, T\}$ и определять вектор значений $\{t_i\}_{i=1}^{2n+1}$ по формулам (5)–(6).
4. Определить набор параметров

$$P_{const} = \{y_0, y_1, y_2, y_3\}$$

– определяющий вектор значений $\{s_i\}_{i=1}^{2n+1}$ по формулам (7).

Предположим, что задан некоторый эталон стандартного представления $\{y_i, t_i\}_{i=1}^{Ne}$, где Ne – число отсчетов в данном эталоне, y_i – величина отсчета, t_i – время отсчета. Задача определения параметра $t_0 \in P_{value}$ решается с помощью следующего алгоритма:

1. Определяется значение Nt_0 . Величины $t_0=0, N_0=0$.
2. Если $y_1 \geq y_{Ne}$, то переход на шаг 3. В противном случае переход на шаг 7.
3. Задается число $j=1$.
4. Определяется число i из условия:

$$y_j \geq y_{Ne-i+1}, y_j \leq y_{Ne-i}.$$

5. Вычисляются величины

$$x_1 = y_{Ne-i} - y_j,$$

$$x_2 = y_{Ne-i} - y_{Ne-i+1},$$

$$t_0 = t_0 + \frac{t_j + t_{Ne-i}}{2} + \frac{x_1(t_{Ne-i+1} - t_{Ne-i})}{2x_2},$$

$$N_0 = N_0 + 1.$$

6. Если $j < Nt_0$, то $j=j+1$ и переход на шаг 4. В противном случае переход на шаг 11.

7. Задается число $j = Ne - Nt_0 + 1$.

8. Определяется число i из условия

$$y_j \geq y_i, y_j \leq y_{i+1}.$$

9. Вычисляются величины

$$x_1 = y_j - y_i,$$

$$x_2 = y_{i+1} - y_i,$$

$$t_0 = t_0 + \frac{t_j + t_i}{2} + \frac{x_1(t_{i+1} - t_i)}{2x_2},$$

$$N_0 = N_0 + 1.$$

10. Если $j < Ne$, то $j=j+1$ и переход на шаг 8. В противном случае переход на шаг 11.

11. Выходное значение определяется соотношением

$$t_0 = \frac{t_0}{N_0}.$$

Перейдем к рассмотрению второй подзадачи. Введем следующие обозначения:

– $\{y_i^+, t_i\}_{i \in I(+)}$ множество значений эталона стандартного представления на участке возрастания,

– $\{y_i^-, t_i\}_{i \in I(-)}$ множество значений эталона стандартного представления на участке убывания,

– $I(+)$ множество индексов значений стандартного представления на участке возрастания, $I(-)$ множество индексов значений стандартного представления на участке убывания.

Для решения данной задачи экспертным путем составлена нечеткая база знаний, которая по величине t_0 определяет:

- $K(+)$ количество точек на участке возрастания,
- $K(-)$ количество точек на участке убывания.

Для решения задачи определения параметра $T \in P_{value}$ и набора параметров $P_{const} = \{y_0, y_1, y_2, y_3\}$ задается следующий набор входных данных:

- $\Omega_c(i_1, i_2, i_3)$ класс эталонов стандартных представлений сигнала;
- величина t_0 , являющаяся решением первой задачи;
- $Y^+ = \{y_i^+, t_i\}_{i \in I(+)}$ множество значений эталона стандартного представления на участке возрастания;

– $Y^- = \{y_i^-, \tau_i\}_{i \in I(-)}$ множество значений эталона стандартного представления на участке убывания;

– $K(+)$ – количество точек на участке возрастания и $K(-)$ – количество точек на участке убывания, которые подучаются в результате решения второй задачи;

– множество эталонов стандартных представлений сигнала, выбранных экспертным путем, которые являются шаблонами стандартных представлений сигнала для класса $\Omega_c(i_1, i_2, i_3)$. Данное множество будем обозначать через $\Omega_c(i_1, i_2, i_3)$, при этом для каждого элемента $x_i \in \Omega P_c(i_1, i_2, i_3)$ определен свой набор параметров

$$P(x_i) = \{T(x_i), y_0(x_i), y_1(x_i), y_2(x_i), y_3(x_i)\}, i=1, \dots, N\Omega P, \quad (9)$$

где $N\Omega P$ – число элементов в множестве $\Omega P_c(i_1, i_2, i_3)$.

Предположим теперь, что у нас есть набор параметров

$$P = \{s_{zad}, t_0, T, y_0, y_1, y_2, y_3\}, \quad (10)$$

который определяет параметры математической модели произвольного стандартного представления $S_M = \{z_i, \tau_i\}_{i=1}^{2n+1}$, задаваемой соотношениями (4)–(7). Для того, чтобы фиксировать от какого набора параметров получено представление $S_M = \{z_i, \tau_i\}_{i=1}^{2n+1}$, введем обозначения

$$S_M(P) = \{z_i(P), \tau_i(P)\}_{i=1}^{2n+1}, \quad (11)$$

где P – определяется соотношением (10).

Обозначим через $S_M^+(P)$, $S_M^-(P)$ выражения

$$\begin{aligned} S_M^+(P) &= \{z_i(P), \tau_i(P)\}_{i=1}^n, \\ S_M^-(P) &= \{z_i(P), \tau_i(P)\}_{i=n+1}^{2n+1} \end{aligned} \quad (12)$$

и введем в рассмотрение $\mu_{\pm}(Y^{\pm}, S_M^{\pm}, K(\pm))$ – степень совпадения набора значений Y^{\pm} и S_M^{\pm} соответственно.

Алгоритм решения задачи определения параметра $T \in P_{value}$ и набора параметров $P_{const} = \{y_0, y_1, y_2, y_3\}$, с учетом введенных обозначений задается следующей последовательностью шагов:

1. Экспертным путем устанавливаются параметры

$$k_{min}, \Delta k, k_{max}, \Delta T_{min}, \Delta T, \Delta T_{max},$$

и некоторое пороговое значение σ .

2. Полагается $i=1$.

3. Выбирается $x_i \in \Omega P_c(i_1, i_2, i_3)$ элемент из множества $\Omega P_c(i_1, i_2, i_3)$ параметры которого

$$P(x_i) = \{T(x_i), y_0(x_i), y_1(x_i), y_2(x_i), y_3(x_i)\},$$

определяются формулами (9).

4. Число k полагается равным k_{min} .

5. Число dT полагается равным ΔT_{min} .

6. Вычисляются новые значения параметров

$$P^{new}(x_i) = \{T^{new}(x_i), y_0^{new}(x_i), y_1^{new}(x_i), y_2^{new}(x_i), y_3^{new}(x_i)\},$$

из следующих соотношений:

$$T^{new}(x_i) = T(x_i) + dT, \quad (13)$$

$$y_m^{new}(x_i) = y_m(x_i) \cdot k.$$

7. Вычисляются значения

$$\mu_{\pm}(Y^{\pm}, S_M^{\pm}(P^{new}(x_i)), K(\pm))$$

степени совпадения набора значений Y^{\pm} и $S_M^{\pm}(P^{new}(x_i))$ соответственно, где $P^{new}(x_i)$ вычисляется по формулам (13).

8. Если выполняются условия

$$\mu_{+}(Y^{+}, S_M^{+}(P^{new}(x_i)), K(+)) < \sigma, \quad (14)$$

$$\mu_{-}(Y^{-}, S_M^{-}(P^{new}(x_i)), K(-)) < \sigma,$$

то

$$\sigma = \max(\mu_{+}(Y^{+}, S_M^{+}(P^{new}(x_i))),$$

$$K(+), \mu_{-}(Y^{-}, S_M^{-}(P^{new}(x_i)), K(-))), \quad (15)$$

$$P^{save}(x_i) = P^{new}(x_i).$$

В случае, если условия (14) не выполняются, осуществляется переход на шаг 9.

9. Число dT полагается равным $dT = dT + \Delta T$. При этом, если $dT \leq T_{max}$, то осуществляется переход на шаг 6. В противном случае, осуществляется переход на шаг 10.

10. Число k полагается равным $k = k + \Delta k$. При этом, если $k \leq k_{max}$, то осуществляется переход на шаг 5. В противном случае, осуществляется переход на шаг 11.

11. Полагается $i=i+1$. При этом, если $i \leq N\Omega P$, то осуществляется переход на шаг 3. В противном случае, осуществляется переход на шаг 12.

12. Если параметры $P^{save}(x_i)$ определены, то считается, что задача восстановления эталона стандартного представления сигнала имеет решение равное $P^{save}(x_i)$. В противном случае, полагается, что задача восстановления эталона стандартного представления сигнала не имеет решение.

Рассмотрим результаты приведенные в табл. 4, в случае, когда лингвистическая переменная $v_T[S(m)]$ принимает значение термина 'НС', а $v_U[d, j] = 'НС'$ и $v_D[d, j] = 'BC'$. К этому классу стандартных представлений сигнала, было отнесено 68 стандартных представлений сигнала, по которым были определены три эталона описывающих данные. Графики данных эталонов приведены на рис. 2. Приведем здесь для сравнения графики эталонов, приведенных на рис. 2, и восстановленных эталонов. На рис. 3 представлен первый из трех эталонов.

Приведенный график показывает, что для набора стандартных представлений, описываемых представленным эталоном, решение задачи восстановления сигнала позволяет устранить аномалию, возникающую в временном наборе измерений.

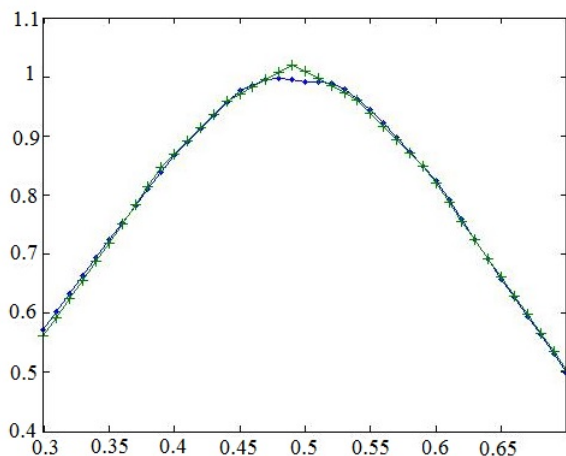


Рис. 3. График первого эталона в случае, когда лингвистическая переменная $v_T[S(m)]$ принимает значение термина 'НС', $v_0[d, j]='НС'$ и $v_0[d, j]='ВС'$

5. Выводы

В данной работе разработан алгоритм устранения аномалий при измерении тензометрических сигналов в процессах, протекающих в условиях неопределенности. Для достижения поставленной цели была предложена математическая модель стандартного представления произвольного сигнала. На реальных данных показано, что построенная математическая модель

стандартного представления произвольного сигнала, может применяться для описания набора сигналов без аномалий. Полученная модель представляет собой обобщение множества аппроксимаций экспериментальных сигналов, которое было отобрано экспертным путем и не содержало аномалий.

Множество стандартных представлений сигналов без аномалий, сформированное с помощью эксперта, позволило создать базу эталонов сигналов без аномалий. При этом каждый эталон, входящий в базу эталонов, представляется конкретным набором значений параметров математической модели.

Сформулирована задача восстановления сигналов с аномалиями, с использованием сформированной базы эталонов. Для решения задачи разработан алгоритм устранения аномалий при обработке сигналов полученных в тензометрических системах.

Данный алгоритм представляет собой решение следующих задач:

- выбрать множество точек в стандартном представлении, по которым будет решаться задача восстановления;
- определить эталон в базе эталонов, по которому будет решаться задача восстановления стандартного представления;
- используя выбранный эталон, обработать аномальную ситуацию.

Таким образом, общим результатом работы является возможность обработки возникающих в тензометрических системах аномальных ситуаций, которые невозможно определить другими методами.

Литература

1. Song, Q. A note on fuzzy time series model relation with sample autocorrelation functions [Text] / Q. Song // Cybernetics and Systems. – 2003. – Vol. 34, Issue 2. – P. 93–107. doi: 10.1080/01969720302867
2. Song, Q. Fuzzy time series and its models [Text] / Q. Song, B. Chissom // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – Vol. 54, Issue 3. – P. 269–277. doi: 10.1016/0165-0114(93)90372-0
3. Ярушкина, Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем [Текст]: учеб. пос. / Н. Г. Ярушкина. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
4. Борисов, В. В. Нечеткие модели и сети [Текст] / В. В. Борисов, В. В. Круглов, А. С. Федюлов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
5. Ротштейн, А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст] / А. П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ–Винница, 1999. – 320 с.
6. Chandola, V. Anomaly Detection : A Survey [Text] / V. Chandola. – The University Of Minnesota, 2009. – 72 p. – Available at: <http://cucis.ece.northwestern.edu/projects/DMS/publications/AnomalyDetection.pdf> (Last accessed: 19.04.2014).
7. Deepthi Cheboli. Anomaly Detection of Time Series [Electronic resource] / Facility Of The Graduate School Of The University Of Minnesota, 2010. – 75 p. – Available at: http://conservancy.umn.edu/bitstream/11299/92985/1/Cheboli_Deepthi_May2010.pdf (Last accessed: 20.04.2014).
8. Salvador, S. Learning States and Rules for Time Series Anomaly Detection [Text] / S. Salvador, P. Chan // Applied Intelligence. – 2005. – Vol. 23, Issue 3. – P. 241–255. doi: 10.1007/s10489-005-4610-3
9. Wei, L. Assumption-Free Anomaly Detection in Time Series [Text] / L. Wei, N. Kumar // SSDBM'2005. Proceedings of the 17th international conference on Scientific and statistical database management, 2005. – P. 237–240. – Available at: <http://alumni.cs.ucr.edu/~ratana/SSDBM05.pdf> (Last accessed: 19.04.2014).
10. Афанасьева, Т. В. Моделирование нечетких тенденций временных рядов [Текст] / Т. В. Афанасьева. – Ульяновск: УЛГТУ, 2013. – 215 с.
11. Ковалев, С. М. Методы многошагового предсказания аномалий в темпоральных данных [Текст] / С. М. Ковалев // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ САПР. – 2013. – № 7. – С. 185–181.
12. Копытчук Н. Б. Алгоритм определения аномальных ситуаций для тензометрических систем [Текст] / Н. Б. Копытчук, П. М. Тишин, И. Н. Копытчук, И. Г. Милейко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – № 21 (1130). – С. 37–45.

13. Копытчук, Н. Б. Построение набора эталонов для повышения точности экспертных оценок [Текст] / Н. Б. Копытчук, П. М. Тишин, И. Н. Копытчук, И. Г. Милейко // ScienceRise. – 2015. – Т. 4, № 2(9). – С. 72–76. doi: 10.15587/2313-8416.2015.41579
14. Копытчук, Н. Б. Построение аппроксимирующей нечеткой зависимости, для определения параметров классификации аномалий, научное издание «Инновации в науке» [Текст] / Н. Б. Копытчук, П. М. Тишин, И. Н. Копытчук, И. Г. Милейко // Сборник статей по материалам XXXVI международной научно-практической конференции. – 2014. – № 8(33). – С. 14–22.

Проведено аналіз додаткових режимів роботи бездротового каналу стандарту IEEE 802.11g, які орієнтовані на підвищення пропускної здатності каналу. Розроблено математичні моделі пропускної здатності бездротового каналу у додаткових режимах. З використанням розроблених моделей проведено дослідження максимальної пропускної здатності бездротового каналу стандарту IEEE 802.11g у додаткових режимах передачі

Ключові слова: бездротовий канал, додаткові режими передачі, математична модель, максимальна пропускна здатність

Проведен анализ дополнительных режимов работы беспроводного канала стандарта IEEE 802.11g, которые ориентированы на повышение пропускной способности канала. Разработаны математические модели пропускной способности беспроводного канала в дополнительных режимах. С использованием разработанных моделей проведено исследование максимальной пропускной способности беспроводного канала стандарта IEEE 802.11g в дополнительных режимах передачи

Ключевые слова: беспроводной канал, дополнительные режимы передачи, математическая модель, максимальная пропускная способность

УДК 004.732

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.42492

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БЕСПРОВОДНОГО КАНАЛА В РЕЖИМАХ УСКОРЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

С. А. Нестеренко

Доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой*

E-mail: sa_nesterenko@ukr.net

Ю. С. Нестеренко

Аспирант*

E-mail: ulie_nestro@mail.ru

*Кафедра компьютерных
интеллектуальных систем и сетей

Одесский национальный

политехнический университет

пр. Шевченко 1, г. Одесса, Украина, 65044

1. Введение

Беспроводные технологии семейства IEEE 802.11 широко используются при построении и модернизации современных компьютерных сетей. Бесспорными преимуществами беспроводных технологий являются простота их развертывания и расширения, а также возможность подключения как стационарных, так и мобильных абонентов [1].

Дополнительный интерес к беспроводным технологиям вызывает реализация концепции «интернета вещей», которая в качестве базовой коммуникации «последней мили» использует стандарт IEEE 802.11 [2].

Современные приложения часто предъявляют повышенные требования к пропускной способности беспроводных каналов. Поэтому на этапах проектирования и модернизации беспроводных компьютерных сетей актуальным является задача анализа пропускной способности беспроводных каналов связи в различных режимах их работы.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Одним из беспроводных стандартов, используемых для построения распределенных компьютерных систем, является стандарт IEEE 802.11g [3]. В рамках данной технологии в качестве основного режима для коммуникации используется базовый режим передачи (Base transmission cycle). Однако, ведущие производители интегральных схем для беспроводных устройств, такие как Atheros, Broadcom и Texas Instruments, реализуют в своих изделиях набор дополнительных режимов передачи, ориентированных на повышение пропускной способности беспроводных каналов. Фирма Atheros режимы ускоренной передачи предлагает в рамках своей технологии Super G [4]. Фирма Broadcom ускоренную передачу реализует в своей технологии Xpress [5]. Texas Instruments для ускоренной передачи разработала технологию G-plus [6]. В рамках данных технологий для повышения пропускной способности канала используются режимы компрессии данных,