**Содержание**

Основная часть

Выводы

Библиографический список

аномальное аппаратура оборудование радиосигнал

При регистрации, обработке и обмене данными в современных измерительно-вычислительных и информационных системах потоки сигналов искажены действием помех (шумов), природа возникновения которых различна и зачастую носит случайный характер. Шумовая составляющая может содержать и аномальные значения. Для решения задачи выделения полезной составляющей нестационарного случайного процесса применяются различные классические процедуры фильтрации, результаты которых зависят от наличия в исследуемом процессе аномальных значений.

Аномальными называют значения, резко отличающиеся по величине и статистическим свойствам на фоне основной группы значений реализации процесса. Природа возникновения и источники аномальных значений различны, это может быть импульсная помеха, кратковременные повышения уровня шумов на входах приемников, сбой в работе регистрирующей аппаратуры, отказ оборудования, кратковременное внешнее воздействие на измерительный элемент, «залипание» разряда цифрового счетчика, атмосферные воздействия при передаче радиосигналов, индустриальные помехи и т.д.

До недавнего времени на практике для обнаружения аномальных значений широко применялись ручные способы, основанные на визуальном просмотре зарегистрированных реализаций нестационарных случайных процессов и сравнение их с контрольными реализациями известной формы. Помимо субъективизма в критериях обнаружения аномальных значений, основанных, главным образом, на опыте и интуиции экспериментатора, подобные способы не допускают автоматизации процедур обработки исследуемых реализаций.

Для преодоления отмеченных недостатков, как показано в работах [1, 2], предлагается использовать теорию статистических решений, которая позволяет формализовать алгоритмы проверок и выбрать критерий обнаружения аномальных значений. Возможно применение как параметри-ческих, так и непараметрических методов теории решения. В первом случае необходимо располагать априорными сведениями как о функции полезной составляющей, так и о законе распределения шумовой составляющей, а также и о его параметрах (математическом ожидании, дисперсии, корреляционной функции). Использование непараметрических методов обработки требует значительно меньше априорной информации, но их эффективность определяется параметрами обработки, которые, в свою очередь, зависят от функции полезной и закона распределения шумовой составляющих процесса.

В связи с этим значительный интерес представляет разработка и исследование способа обнаружения аномальных значений при анализе нестационарных случайных процессов, представленных единственной реализацией.

В работах [3, 4] представлен метод выделения полезной составляющей нестационарного случайного процесса, который имеет высокую эффективность в условиях априорной неопределенности. Суть метода состоит в размножении не самой реализации исходного процесса, а оценок, получаемых определенным образом. Автор работ [3, 4], основываясь на основных принципах метода размножения оценок, предлагает и метод обнаружения аномальных значений при анализе нестационарных случайных процессов. В работах [3, 4, 5, 6 и др.] аналитически определены значения основных параметров метода обнаружения аномальных значений и показана его эффективность при анализе как стационарных, так и нестационарных случайных процессов с аддитивной шумовой составляющей.

К одному из достоинств метода обнаружения аномальных значений можно отнести также следующее: применение двухпорогового критерия принятия решения об аномальности значения процесса позволяет получить результаты, при которых с увеличением величины аномальных значений, выборочные значения вероятности ошибки первого рода  стремятся к минимальным значениям, в то время как выборочные значения вероятности правильного обнаружения  стремятся к максимальным значениям [4, 5, 6].

Наряду с достоинствами предлагаемого метода обнаружения аномальных значений, представленного в работах [4, 5], выявлено, что он обладает весьма существенными недостатками, одним из которых является зависимость порогового значения от некоторого постоянного коэффициента . Правильный выбор коэффициента  позволит повысить эффективность обнаружения аномальных значений.

Поэтому в данной работе на основе проведенных исследований предлагается модификация уже существующего метода обнаружения аномальных значений, которая заключается в выборе правила определения коэффициента  при задании порогового значения.

Модификация предлагаемого в работе способа обнаружения аномальных значений предполагает введение адаптации порогового значения относительно коэффициента  при априорно фиксированном значении вероятности ошибки первого рода .

Предлагаемый в данной работе способ предполагает наличие единственной дискретной реализации исследуемого нестационарного случайного процесса . Априорная информация об исследуемом процессе заключается в том, что на некоторых интервалах времени полезная составляющая процесса является гладкой функцией [6], т.е. достаточно точно описывается полиномом не выше второй степени:

. (1)

Реализация исследуемого процесса разбивается на интервалы случайной длины, получаемые следующим образом: с помощью генератора случайных чисел, равномерно распределенных в интервале (0;1), получают  чисел . Используя выражение , осуществляется взаимнооднозначное отображение промежутка (0;1) на интервале значений исследуемого нестационарного случайного процесса , получая при этом соответствующее разбиение числами  промежутка  на  непересекающихся интервалов, где

 , . (2)

Вводятся обозначения для интервалов разбиения:

, , …,  .(3)

Каждый интервал разбиения   содержит не менее  отсчетов (минимальная длина интервала разбиения) исходного нестационарного случайного процесса из набора , в противном случае случайные числа, формирующие данный интервал разбиения , отбрасываются и генерируются заново. Наличие этого условия означает, что .

Для получения каждой новой оценки процедура разбиения отрезка  на  интервалов случайной длины (с проверкой выше указанного условия) повторяется. В результате получаем  разбиений временного отрезка  [7] .

  … 

  … . (4)

  … 

На каждом интервале разбиения , где  и , с помощью метода наименьших квадратов находятся оценки , ,  коэффициентов аппроксимирующего полинома  как решение системы линейных уравнений:

 (5)

где символ означает суммирование по всем -м значения, которые принадлежат интервалу разбиения  и , .

Результатом действия способа будет набор определенных на отрезке  сглаживающих функций , где , каждая из которых является «кусочно-квадратичной»:

(6)

где ,  и .

Определяются значения разности  между исходным нестационарным случайным процессом  и оценкой сглаживающих функций :

, .(7)

При оценке параметров разностного процесса  на каждом интервале разбиения  используется один из методов робастного оценивания [8], т.е. оценка параметров математического ожидания  и среднеквадратического отклонения  производится по -усеченной выборке. Для этого на каждом интервале разбиения  получаем ряд ранжированных значений и оценку математического ожидания  и среднеквадратического отклонения , которая проводится без учета первого и последнего значения ранжированного ряда. Тогда выражения для оценок математического ожидания  и среднеквадратического отклонения  принимают следующий вид [9]:

 и ,(8)

где .Далее на каждом интервале разбиения исследуемого нестационарного случайного процесса устанавливается пороговое значение

, (9)

где  – некоторый коэффициент,  и . Превышение значений разностного процесса  на каждом интервале разбиения установленного порогового значения (9) штрафуется, т.е. если выполняется условие:

, (10)

то  получает одно штрафное значение. В соответствии с методом размножения оценок [4] вышеизложенная процедура определения штрафов повторяется *р* раз и для каждого повторения проверяется условие (10) для каждого значения , где ; ;;  – объем выборки исследуемого нестационарного случайного процесса;  – количество интервалов разбиения; – количество повторений процедур (2)–(10).

Таким образом, происходит накопление ряда штрафных значений для элементов исходной реализации исследуемого процесса, т.е.:

, (11)

где – ряд штрафных значений  и ,.

По окончанию обработки для всех оштрафованных значений исходной реализации определяется суммарное значение штрафов  и максимальное значение ряда . Далее проверяется условие: если

, (12)

то *k*-е значение из входной реализации нестационарного случайного процесса  будет трактоваться как аномальное. Условие (12) получено на основе проведения имитационного моделирования при различных моделях полезной и шумовой составляющих нестационарного случайного процесса.

Для случая обнаружения аномальных значений в реализации нестационарного случайного процесса выбирать значение коэффициента  только по оценкам среднеквадратического отклонения шумовой составляющей процесса является нецелесообразным, так как наличие аномальных значений существенно влияет на погрешность оценки полезной составляющей процесса и, как следствие, на оценку среднеквадратического отклонения разностного процесса. Следует также отметить, что на каждом интервале разбиения значение коэффициента  не может быть фиксированным.

В связи с этим предлагается ввести адаптацию порогового значения о назначении штрафов (9) по коэффициенту  относительно априорно фиксированного значения вероятности ошибки первого рода. С этой целью проведены исследования зависимости коэффициента  от объема выборки , от значения среднеквадратического отклонения случайного процесса  для различных стационарных процессов при априорно фиксированных значениях вероятности ошибки первого рода .

В результате получены зависимости выборочных значений коэффициента  от объема исследуемой выборки и среднеквадратического отклонения шумовой составляющей процесса, то есть . Входная реализация представляет собой стационарный центрированный гауссовский случайный процесс. Исследования проводились на выборках объемом = 5, 7, 9, 11, 13 и 15 значений и среднеквадратическом отклонении случайного процесса = 0,1–0,5. В результате проведенных исследований были получены зависимости выборочных значений коэффициента  при различных априорно фиксированных значениях вероятности ошибки первого рода . Усреднение значений коэффициента  производилось по 1 000 выборок [10, 11, 12].

На рис. 1 приведены графики зависимости выборочных значений коэффициента  для объема выборки  и среднеквадратического отклонения случайного процесса  при априорно фиксированных значениях вероятности ошибки первого рода  (при =0,05 – рис. 1а, при =0,1 – рис. 1б).



а) б)

Рис. 1. Зависимость  для гауссовского закона плотности распределения вероятности случайного процесса: а – при ; б – при 

Из анализа полученных зависимостей, представленных на рис. 1, следует, что при различных фиксированных значениях вероятности ошибки первого рода  с увеличением объема выборки  выборочные значения коэффициента  стремится к некоторому постоянному значению и практически не зависит от значения среднеквадратического отклонения случайного процесса. Выборочные значения коэффициента  для выборок  возрастают в среднем на 5 %.

Также приведены результаты исследований зависимости коэффициента  от объема выборки  и среднеквадратического отклонения , когда стационарный случайный процесс представлен равномерным и рэлеевским законами распределения. Результаты полученных зависимостей представлены на рис. 2а – для равномерного и на рис. 2б – для рэлеевского законов плотности распределения вероятности случайного процесса, при априорно фиксированном значении ошибки первого рода =0,05.



а) б)

Рис. 2. Зависимость  при :

а – для равномерного закона;

б – для рэлеевского законов плотности распределения вероятности случайных процессов

Из анализа графиков, представленных на рис. 2а и б, видно, что выборочные значения коэффициента  практически не зависят от среднеквадратического отклонения стационарного случайного процесса  и незначительно зависит от объема исследуемой выборки .

Таким образом, проведенные исследования показывают, что выборочные значения коэффициента  для рассмотренных законов распределения случайных процессов практически не зависят от объема исследуемой выборки  и среднеквадратического отклонения стационарного случайного процесса , а зависят только от априорно задаваемого значения вероятности ошибки первого рода  [10, 11, 12]. В связи с этим исследуются зависимости выборочных значений коэффициента  от априорно фиксированного значения вероятности ошибки первого рода , т.е. , для различных законов плотности распределения вероятности стационарных случайных процессов (гауссовского, равномерного, рэлеевского) при значении . Результаты, которые представлены на рис. 3, получены при ,  и .

На рис. 3 приведены зависимости значения оценок коэффициента  от вероятности ошибки первого рода : график 1 – рэлеевский; график 2 – равномерный и график 3 – гауссовский законы плотности распределения вероятности стационарного случайного процесса.



Рис. 3. Зависимость  для различных законов распределения случайных процессов

Из анализа графиков, представленных на рис. 3, следует, что выборочные значения коэффициента  для всех представленных законов распределения стационарного случайного процесса существенно зависят от априорно задаваемых значений вероятности ошибки первого рода .

На рис. 4 представлен усредненный график зависимости  для исследуемых стационарных случайных процессов.



Рис. 4. Усредненная зависимость  для рассмотренных стационарных случайных процессов

Графическая зависимость, представленная на рис. 4, может быть аппроксимирована полиномом второй степени вида [6, 7]:

. (13)

Полученные результаты исследования зависимости коэффициента  позволяют при адаптации порогового значения (9) вместо постоянного значения коэффициента  использовать его значение, которое вычисляется в соответствии с (13). Использование уравнения (13) в оценке порогового значения (9) позволяет использовать предложенный способ обнаружения аномальных значений при фиксированном значении вероятности ошибки первого рода .

Для исследования эффективности способа обнаружения аномальных значений с адаптацией порогового значения проводится сравнительный анализ предлагаемого способа и способа обнаружения аномальных значений без адаптации порогового значения.

Критерием эффективности предлагаемого в данной работе способа обнаружения аномальных значений в реализации нестационарного случайного процесса выступают выборочные значения вероятности правильного обнаружения  и вероятности ошибки первого рода . Вероятность ошибки первого рода  (вероятность ложной тревоги) определяет вероятность принятия значения процесса за аномальное значение. Вероятность правильного обнаружения  определяет вероятность правильного решения о наличии аномального значения в исходной реализации нестационарного случайного процесса. Использование вышесказанного критерия для оценки эффективности предлагаемых в работе способа осуществляются по усредненным значениям, т.е. в качестве выборочных значений вероятности правильного обнаружения , и вероятности ошибки первого рода  рассмотрены их средние значения, полученные по множеству реализаций (порядка 1 000).

В данной работе исследуются модели нестационарных процессов, которые представляют собой единственную реализацию дискретного процесса , полученного в равноотстоящие моменты времени , где  и , т.е. модели вида [3]:

, (14)

, (15)

где ,, ,  – полезная, аддитивная, мультипликативная шумовая и аномальная составляющие входного процесса соответственно, где , – объем выборки исследуемого процесса.

Исследование для нестационарных случайных процессов проводятся, когда полезная составляющая процесса  представлена простыми моделями функций: гармонической, экспоненциальй, полиномиальными, а также составной и сложной моделями. Составная модель функции исследуемого процесса состоит из параболы, синусоиды, константы и экспоненты – модель огибающая радиоимпульса на выходе резонансного усилителя при расстройке относительно резонансной частоты. Модель сложной функции представляет собой сумму некоторой константы и синусоиды.

Шумовая составляющая процесса представлена гауссовским, равномерным и рэлееевским законами плотности распределения вероятности. В качестве аномальной составляющей процесса рассматривались одиночные аномального значения  с различной величиной  и местом расположения в выборке исследуемого нестационарного случайного процесса.

На основе имитационного моделирования в работах [3, 4] при анализе нестационарных случайных процессов получены зависимости выборочных значений вероятности ошибки первого рода  и вероятности правильного обнаружения  для способа обнаружения аномальных значений без адаптации, т.е. когда значение коэффициента  в пороговом значении (9) задается фиксированным , и с адаптацией порогового значения (9), т.е. когда значение коэффициента  определяется выражением  (13) [4].

Исследования эффективности предлагаемого способа проводятся для случая, когда модель нестационарного случайного процесса является аддитивной (14). Аддитивная шумовая составляющая процесса  имеет гауссовский закон плотности распределения вероятности. Одиночные аномальные значения распределены равномерно по всей реализации нестационарного случайного процесса  и составляют 5 % от выборки *N*. Исследования проводятся для различных значений величины аномальных значений , т.е.: ,,,,,  – среднеквадратическое отклонение аддитивной шумовой составляющей. Значения вероятности ошибки первого рода для способа с адаптацией порогового значения априорно фиксируется .

В результате проведенных исследований для нестационарных случайных процессов получены зависимости выборочных значений вероятности правильного обнаружения . Для случая, когда не используется адаптация порогового значения, – графики , , , ,  и с применением адаптация порогового значения – графики 1, 2, 3, 4, 5 (рис. 5).



Рис. 5. Зависимость выборочных значений вероятности правильного обнаружения  для способа без адаптации и способа с адаптацией порогового значения при 

Зависимости  на рис. 5 представлены для различных моделей функций полезной составляющей : графики 1,  – экспоненциальной; графики 2,  – параболической; графики 3,  – гармонической; графики 4,  – составной и графики 5,  – сложной функции.

Анализ результатов, представленных на рис. 5, показывает, что при введении адаптации порогового значения выборочные значения вероятности правильного обнаружения  возрастают для всех рассмотренных функций полезной составляющей . Причем для параболической, гармонической и экспоненциальной модели функций, при величине аномальных значений порядка , выборочные значения вероятности правильного обнаружения  возрастают примерно на 66 %. С увеличением величины аномальных значений () выборочные значения вероятности правильного обнаружения  увеличиваются примерно на 54 %. Из анализа зависимостей  также следует, что при использовании адаптации порогового значения, с увеличением величины аномальных значений , вероятность правильного обнаружения  асимптотически стремится к единице независимо от модели функции полезной составляющей  [4, 5].

Применяя адаптацию порогового значения, также получены зависимости выборочных значений вероятности ошибки первого рода , которые представлены на рис. 6.



Рис. 6. Зависимость выборочных значений ошибки первого рода  для способа с адаптацией порогового значения при 

Зависимости  на рис. 6 представлены для следующих моделей функций полезной составляющей сигнала : график 1 – параболической; график 2 – составной; график 3 – экспоненциальной; график 4 – гармонической; график 5 – сложной.

Из анализа полученных зависимостей  следует, что при использовании адаптации порогового значения выборочные значения вероятности ошибки первого рода  практически не превосходят априорно задаваемого значения, т.е. , для всех исследуемых нестационарных случайных процессов (рис. 6).

В данной работе также исследуется эффективность адаптивного способа обнаружения аномальных значений в зависимости от места расположения аномальных значений в выборке нестационарного случайного процесса.

Рассматривается модель с аддитивной шумовой составляющей , закон плотности распределения вероятности которой является центрированным гауссовским случайным процессом со среднеквадратическим отклонением . В качестве модели функции полезной составляющей  используются следующие нормированные функции: экспоненциальная, гармоническая, составная.

Аномальные значения с фиксированной величиной  составляют 5 % от объема исследуемой выборки . Рассматриваются случаи, когда аномальные значения располагаются в начале выборки, в середине выборки, в конце выборки и равномерно по всей выборке нестационарного случайного процесса , где .

В результате проведенных исследований получены выборочные значения вероятности правильного обнаружения  для случая без адаптации и с адаптацией порогового значения, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Выборочные значения вероятности правильного обнаружения **

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расположение  аномальных значений | Гармоническая  функция | | Экспоненциальная функция | | Составная функция | |
| с адаптацией  порогового значения | без  адаптации  порогового значения | с адаптацией  порогового значения | без адаптации  порогового значения | с адаптацией  порогового значения | без  адаптации  порогового значения |
| В начале  выборки | 0,796 | 0,457 | 0,861 | 0,204 | 0,694 | 0,199 |
| В середине выборки | 0,930 | 0,201 | 0,928 | 0,269 | 0,842 | 0,251 |
| В конце  выборки | 0,898 | 0,252 | 0,925 | 0,254 | 0,828 | 0,241 |
| Равномерно расположены по всей  выборке | 0,979 | 0,204 | 0,925 | 0,254 | 0,920 | 0,369 |

Анализ результатов, представленных в табл. 1, показывает, что выборочные значения вероятности правильного обнаружения  при использовании способа с адаптацией порогового значения более высокие, чем при использовании способа с адаптацией порогового значения. Например, для экспоненциальной модели функции полезной составляющей , при расположении аномальных значений в начале выборки, выборочные значения вероятности правильного обнаружения  возрастают примерно на 76 и на 70 % при расположении аномальных значений в конце выборки. Причем при адаптации порогового значения выборочные значения вероятности правильного обнаружения  практически не зависят от места расположения аномальных значений в выборке нестационарного случайного процесса .

При тех же условиях для способа с адаптацией порогового значения определяются выборочные значения вероятности ошибки первого рода . В табл. 2 приведены выборочные значения вероятности ошибки первого рода, которые получены для случая априорного значения .

Таблица 2

**Выборочные значения вероятности ошибки первого рода **

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Расположение  аномальных  значений | Гармоническая функция | Экспоненциальная функция | Составная функция |
| В начале выборки | 0,037 | 0,044 | 0,037 |
| В середине  выборки | 0,044 | 0,045 | 0,035 |
| В конце выборки | 0,042 | 0,042 | 0,036 |
| Равномерно  расположены  по всей выборке | 0,040 | 0,044 | 0,034 |

Из анализа табл. 2 следует, что выборочные значения вероятности ошибки первого рода  не превосходят своего априорно задаваемого значения независимо от места расположения аномальных значений в выборке нестационарного случайного процесса .

В данной работе также рассматривается влияние применения адаптации порогового значения для случая, когда нестационарный случайный процесс  () является мультипликативным, т.е. представлен моделью (15). Для этого анализируется эффективность использования способа с адаптацией порогового значения для нестационарных случайных процессов с мультипликативной шумовой составляющей  при различных значениях величины аномальных значений .

В качестве модели мультипликативной шумовой составляющей исследуемого процесса  – гауссовский случайный процесс. Величина аномальных значений : ,,,,, (– среднеквадратическое отклонение мультипликативной шумовой составляющей ). Значение вероятности ошибки первого рода для способа с адаптацией порогового значения априорно выбирается . Одиночные аномальные значения распределены равномерно по всей выборке нестационарного случайного процесса , где , и составляют 5 % от *N*.

В результате исследований получены зависимости выборочных значений вероятности правильного обнаружения , которые представлены на рис. При применении способа обнаружения аномальных значений с адаптацией порогового значения: графики 1, 2 и 3 – и способа обнаружения аномальных значений без адаптации порогового значения: графики ,  и .

Функциональные зависимости соответствуют следующим моделям функции полезной составляющей сигнала , в случае с адаптацией порогового значения: график 1 – экспоненциальной; график 2 – гармонической; график 3 – составной функциям – и в случае без адаптации порогового значения: график  – экспоненциальной; график – гармонической; график  – составной функциям.

Анализ результатов, приведенных на рис. 7, показывает, что с применением способа обнаружения аномальных значений с адаптацией порогового значения, выборочные значения вероятности правильного обнаружения  увеличиваются в зависимости от величины аномальных значений (): для гармонической модели функции полезной составляющей  – примерно на 51–26 %, для экспоненциальной модели функции полезной составляющей  – примерно на 28–25 %, для составной модели функции полезной составляющей  – примерно на 43–24 %.



Рис. 7 Зависимость выборочных значений вероятности правильного обнаружения  для способа без адаптации и с адаптацией порогового значения при 

Из анализа зависимостей, представленных на рис. 7, также следует, что при использовании способа с адаптацией порогового значения выборочные значения вероятности правильного обнаружения  практически не зависят от величины аномальных значений  и стремятся к единице независимо от модели функции полезной составляющей .

При тех же условиях определяются выборочные значения вероятности ошибки первого рода , которые представлены на рис. 8. Соответственно, график 1 – экспоненциальная, график 2 – гармоническая и график 3 – составная функции полезной составляющей . Анализ результатов, представленных на рис. 8, показывает, что адаптация порогового значения позволяет получить выборочные значения вероятности ошибки первого рода , не превосходящие априорно задаваемого значения , независимо от модели функции полезной составляющей , при всех рассмотренных величинах аномальных значений .



Рис. 8. Зависимость выборочных значений ошибки первого рода  для способа с адаптацией порогового значения при 

При исследовании эффективности способа обнаружения аномальных значений с адаптацией порогового значения для нестационарных случайных процессов с мультипликативной шумовой составляющей рассматривались зависимости вероятности правильного обнаружения  при гауссовском и равномерном законах плотности распределения вероятности мультипликативной шумовой составляющей , которые представлены на рис. 9.

Зависимости  рассматриваются при различных моделях функции полезной составляющей : график 1 – составная, график 2 – сложная, график 3 – экспоненциальная, график 4 – гармоническая, график 5 – параболическая функции.

Анализ результатов, представленных на рис. 9а, показывает, что при гауссовском законе плотности распределения вероятности мультипликативной шумовой составляющей , выборочные значения вероятности правильного обнаружения , при величине аномальных значений , достигают  = 0,932–0,980 в зависимости от функции полезной составляющей .



а) б)

Рис. 9. Зависимость выборочных значений вероятности правильного обнаружения : а – при гауссовском законе; б – при равномерном законе плотности распределения вероятности мультипликативной шумовой составляющей

При  выборочные значения вероятности правильного обнаружения  стремятся к единице, независимо от модели полезной составляющей . При равномерном законе плотности распределения вероятности мультипликативной шумовой составляющей  выборочные значения вероятности правильного обнаружения  при  достигают  в зависимости от функции полезной составляющей , а при  стремятся к единице независимо от функции полезной составляющей  (рис. 9б).

Также исследуются зависимости выборочных значений вероятности правильного обнаружения  и вероятности ошибки первого рода  от места расположения аномальных значений в выборке нестационарного случайного процесса  с мультипликативной шумовой составляющей  для различных моделей функций полезной составляющей , которые приведены соответственно в табл. 3 и 4.

В табл. 3 и 4 выборочные значения представлены для случая, когда мультипликативная шумовая составляющая  имеет гауссовский закон плотности распределения вероятности. Аномальные значения составляют 5 % от объема выборки  и их величина . Среднеквадратическое отклонение шумовой составляющей сигнала , априорно задаваемое значение вероятности ошибки первого рода .

Анализ выборочных значений вероятности правильного обнаружения , которые представлены в табл. 3, показывает, что использование способа обнаружения аномальных значений с адаптацией порогового значения позволяет получать выборочные значения вероятности правильного обнаружения  значительно выше, чем при применении способа без адаптации порогового значения. Например, если модель функции полезной составляющей  является гармонической, то для случая, когда аномальные значения расположены в начале выборки, выборочные значения вероятности правильного обнаружения  возрастают примерно на 80 %.

Таблица 3

**Выборочные значения вероятности правильного обнаружения **

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расположение  аномальных значений | Гармоническая  функция | | Экспоненциальная функция | | Составная функция | |
| с адаптацией  порогового значения | без адаптации  порогового значения | с адаптацией  порогового значения | без адаптации  порогового значения | с адаптацией порогового  значения | без адаптации порогового  значения |
| В начале выборки | 0,954 | 0,180 | 0,903 | 0,228 | 0,974 | 0,211 |
| В середине выборки | 0,995 | 0,298 | 1 | 0,339 | 0,998 | 0,307 |
| В конце  выборки | 0,954 | 0,296 | 1 | 0,313 | 0,975 | 0,277 |
| Равномерно расположены по всей выборке | 1 | 0,645 | 0,997 | 0,736 | 1 | 0,712 |

Если же модель функции полезной составляющей  является экс-поненциальной, при расположении аномальных значений в начале выбор-ки, выборочные значения вероятности правильного обнаружения  уве-личиваются на 75 %, и примерно на 68 % при расположении аномальных значений в середине и в конце исследуемого нестационарного процесса .

Анализ показывает, что выборочные значения вероятности правиль-ного обнаружения , при применении адаптации порогового значения, стремятся к единице независимо от места расположения аномальных зна-чений в выборке исследуемого процесса  и модели функций полезной составляющей .

Результаты, которые представлены в табл. 4, показывают, что при использовании способа обнаружения аномальных значений с адаптацией порогового значения, выборочные значения вероятности ошибки первого рода  не превосходят априорно задаваемого значения  при любом расположении аномальных значений для всех представленных моделей функций полезной составляющей  нестационарного случайного процесса .

Таблица 4

**Выборочные значения вероятности ошибки первого рода **

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Расположение  аномальных значений | Гармоническая функция | Экспоненциальная функция | Составная  функция |
| В начале выборки | 0,048 | 0,044 | 0,045 |
| В середине  выборки | 0,046 | 0,043 | 0,045 |
| В конце выборки | 0,046 | 0,042 | 0,045 |
| Равномерно расположены  по всей выборке | 0,040 | 0,018 | 0,036 |

Таким образом, выборочные значения правильного обнаружения  практически не зависят от расположения аномальных значений в выборке нестационарного случайного процесса , а выборочные значения вероятности ошибки первого рода  не превосходят своего априорно задаваемого значения.

**выводы**

1. Использование адаптивного способа при анализе нестационарных случайных процессов с аддитивной и мультипликативной шумовой составляющей позволяет при фиксированном значении вероятности ошибки первого рода получить выборочные значения вероятности правильного обнаружения, которые с ростом величины аномальных значений стремятся к единице.
2. Введение адаптации порогового значения позволяет получить выборочные значения вероятности ошибки первого рода , не превосходящие априорно задаваемого значения для всех рассмотренных моделей полезной и шумовой составляющих процесса.
3. Эффективность обнаружения аномальных значений, с введением адаптации порогового значения, возрастает, при величине аномальных значений , для процессов с аддитивной шумовой составляющей на 66–54 % , с мультипликативной – на 43–50 % в зависимости от закона плотности распределения вероятности шумовой составляющей и независимо от места расположения аномальных значений.

Библиографический список

1. Фомин, А.Ф. Отбраковка аномальных результатов измерений / А.Ф. Фомин, О.Н. Новоселов, А.В. Плющев. – М. : Энергоатомиздат, 2008. – 200 с.
2. Брофман, М.Я. Анализ критериев обнаружения экстремальных значений / М.Я. Брофман, В.Х. Римен // Заводская лаборатория. – 2007. –Т. 30, № – С. 861–865.
3. Марчук, В.И. Первичная обработка результатов измерений при ограниченном объеме априорной информации : монография / В.И. Марчук ; под ред. К.Е. Румянцева. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2009. – 160 с.
4. Марчук, В.И. Методы выделения полезной составляющей и обнаружение аномальных значений при анализе нестационарных случайных сигналов в условиях непараметрической априорной неопределенности и ограниченном объеме измерений / В.И. Марчук. – Таганрог, 2006. – 372 с.
5. Марчук, В.И. Новый способ повышения достоверности результатов измерений / В.И. Марчук, К.Е. Румянцев // Авиакосмическое приборостроение. – 2007. – № 2. – С. 51–55.
6. Марчук, В.И. Анализ методов адаптации порогового значения при обнаружении аномальных измерений / В.И. Марчук, К.Е. Румянцев // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2006. – Вып. 1. – С. 20–25.
7. Фомичев, С.М. Обзор математических моделей каналов связи и их применение в телекоммуникационных системах / С.М. Фомичев, А.В. Абилов. – Ижевск : Изд-во Ижевского ГУ, 2011. – С. 60.
8. Венецкий, И.Г. Теория вероятности и математическая статистика / И.Г. Венецкий, Г.С. Кильдишев. – М. : Статистика, 2008. – 388 с.
9. Токарева, С.В. Исследование модификации метода обнаружения аномальных значений / С.В. Токарева, В.В. Воронин // Наука и образование без границ : материалы 3-й международной научно-практич. конф. Т.16. Технологии. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2008 – С. 74–7
10. Токарева, С.В. Сравнительный анализ модификации нового метода обнаружения аномальных измерений / С.В. Токарева, А.И. Шерстобитов // Системный подход в науках о природе, человеке и технике : материалы международной науч. конф. – Таганрог : ТРТУ, 2009. – Ч. 5. – С. 99–103.
11. Токарева, С.В. Способ уменьшения погрешности при использовании метода размножения оценок / С.В. Токарева, А.И. Шерстобитов // Моделирование. Теория, методы и средства : материалы 4-й международной научно-практич. конф. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2006. – С. 4–5.
12. Токарева, С.В. Повышение вероятности правильного обнаружения аномальных измерений при параметрической неопределенности / С.В. Токарева, А.И. Шерстобитов // Известия вузов Северо-Кавказкий регион «Техника, Технология и экономика сервиса». Технические науки. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2008.
13. Кириллов, Н.Е. Помехоустойчивая передача сообщений по линейным каналам со случайно изменяющимися параметрами / Н.Е. Кириллов. – М. : Связь, 2011. – 256 с.
14. Токарева, С.В. Использование адаптивного метода обнаружения аномальных измерений при заданной вероятности ошибки первого рода / С.В. Токарева // Современные проблемы радиоэлектроники : материалы 1-й межрегиональной науч. конф. – Ростов н/Д., 2006. – С. 132–134.
15. Токарева, С.В. Использование адаптивного метода обнаружения аномальных измерений для нестационарных случайных процессов / С.В. Токарева // Статистические методы в естественных, гуманитарных и технических науках : материалы международной науч. конф. – Таганрог : ТРТУ, 2006. – Ч. 3. – С. 83–86.