

Утверждаю

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский Нижегородский
государственный университет
им. Н.И. Лобачевского», д.ф.-м.н.




В.Б. Казанцев
« 10 » марта 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» на диссертацию Сай Си Ту Мин «Разработка алгоритмов статистического анализа информационных сигналов со скачкообразным изменением характеристик в условиях параметрической априорной неопределенности», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации)

Статистический анализ разрывных сигналов с неизвестными параметрами находит широкое применение в связи и локации, при радиофизических исследованиях различных сред и объектов, в теории и технике радиоуправления, телеметрии, навигации, промышленной диагностике и др. Известные к настоящему времени конструктивные результаты по обработке информационных процессов со скачкообразным изменением свойств в большинстве своем получены для различных частных случаев при наличии существенных ограничений (на класс моделей информационного процесса, некоррелированность обрабатываемых отсчетов и пр.). Кроме того, достаточно часто синтез алгоритмов обнаружения и оценки времени скачкообразного изменения проводился в условиях полной априорной определенности относительно других параметров принимаемой реализации наблюдаемых данных. Во многих задачах при выполнении процедуры синтеза оставался открытым вопрос о характеристиках полученных обнаружителей и измерителей разрывных сигналов, позволяющих аналитически оценить качество их функционирования. Действительно, при скачкообразном (ступенчатом) изменении неизвестного сигнального параметра наблюдаемого случайного процесса решающая статистика оказывается недифференцируемой ни в каком вероятностном смысле. В результате определить даже потенциальную точность измерения (границу Крамера-Рао) не представляется возможным.

В этой связи диссертация Сай Си Ту Мин, посвященная синтезу новых, технически более простых по сравнению с имеющимися аналогами алгоритмов определения скачкообразных изменений свойств информационных процессов в условиях параметрической априорной неопределенности и разработке способов аналитического и экспериментального (методами статистического моделирования) определения характеристик обнаружителей и измерителей сигналов с неизвестными разрывными параметрами, представляет интерес и является актуальной.

В первом разделе диссертации рассмотрена обобщенная методика расчета характеристик оптимальных алгоритмов обработки квазидетерминированных и гауссовских сигналов с неизвестным разрывным параметром, наблюдаемых на фоне стационарных коррелированных гауссовских помех. В целом данная методика базируется на известном методе локально-марковской аппроксимации, разработанного школой проф. А.П. Трифонова. Суть предложенного подхода состоит в возможности локальной (в малой окрестности точки максимума) аппроксимации приращения решающей статистики марковским случайным процессом диффузионного типа при независимости его значений до и после точки максимума. В результате, последовательно решая уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова на интервалах постоянства коэффициента сноса, удастся найти замкнутые асимптотически точные выражения для вероятностей ложной тревоги и пропуска сигнала в задаче обнаружения, плотности вероятности и центральных моментов оценки разрывного параметра, в том числе с учетом аномальных ошибок, в задаче оценивания. В качестве иллюстрации практического применения полученные общие соотношения конкретизированы при решении задачи приема прямоугольного видеоимпульса и случайного радиоимпульса с неизвестным временным положением на фоне белого шума и широкополосной гауссовской помехи. Для двух указанных случаев установлено удовлетворительное согласование теоретических и экспериментальных (полученных с помощью моделирования на ЭВМ) характеристик обнаружения и оценивания в широком диапазоне выходных отношений сигнал/шум.

Во втором разделе диссертации изложена методика статистического анализа квазиоптимальных алгоритмов обработки квазидетерминированных и гауссовских сигналов с неизвестным разрывным параметром, в случае, когда оценка разрывного параметра не является состоятельной (при размере области несостоятельности, стремящемся к нулю, квазиоптимальные алгоритмы переходят в оптимальные, рассмотренные в первом разделе). Показано, что приращение решающей статистики в области надежной оценки разрывного параметра допускает аппроксимацию марковским случайным процессом со ступенчатыми коэффициентами сноса и диффузии. В результате характеристики обнаружения и оценивания могут быть найдены на основе последовательного решения уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова в подобластях постоянства указанных коэффициентов. Исследовано влияние аномальных ошибок на точность оценки разрывного параметра.

Применение изложенного подхода в практических приложениях проиллюстрировано на примере приема прямоугольного видеоимпульса и случайного радиоимпульса с неизвестным временным положением и неточно известной длительностью при наличии белого шума и широкополосной гауссовской помехи. В частности, для рассмотренных обнаружителей конкретизированы выражения для вероятностей ложной тревоги и пропуска сигнала, а для измерителей – выражения для условных смещений и рассеяний оценок временного положения. Установлено удовлетворительное согласование теоретически рассчитанных характеристик приемных устройств с соответствующими экспериментальными данными в широком диапазоне выходных отношений сигнал/шум.

В третьем разделе предложена новая методика синтеза алгоритмов определения разладки низкочастотных случайных процессов с неизвестными параметрами при условии, что флуктуации анализируемого процесса являются «быстрыми», а его спектральная плотность достаточно быстро убывает за пределами заданной полосы частот. Применение предложенного подхода проиллюстрировано на примере обнаружения и измерения момента скачкообразного изменения неизвестного математического ожидания полосового гауссовского процесса с неизвестной дисперсией. Показано, что получаемые при этом обнаружитель разладки и измеритель момента разладки и энергетических параметров имеют одноканальную структуру и могут быть реализованы в виде достаточно простых типовых устройств. С использованием выполненного в первом разделе обобщения метода локально-марковской аппроксимации найдены асимптотические выражения для вероятностей ложной тревоги и пропуска сигнала (в задаче обнаружения) и условных смещений и рассеяний выносимых оценок (в задаче оценивания). Представлен новый способ аналитического расчета характеристик оценки разрывного параметра (момента разладки) с учетом «аномальных» ошибок при кусочно-монотонной сигнальной функции решающей статистики. Работоспособность и эффективность синтезированных обнаружителя и измерителя подтверждены экспериментально, методами статистического моделирования на ЭВМ. Установлено, что теоретические формулы для характеристик обнаружения разладки и оценок неизвестных момента разладки, математического ожидания и дисперсии полосового гауссовского процесса удовлетворительно аппроксимируют соответствующие экспериментальные данные в широком диапазоне выходных отношений сигнал/шум.

В четвертом разделе проиллюстрирована методика обнаружения и измерения разладки быстрофлуктуирующих высокочастотных случайных процессов с равномерным спектром в условиях параметрической априорной неопределенности. Показана возможность получения более простых аппроксимаций решающих статистик, допускающих аналитическое решение задачи максимизации по неизвестным непрерывным параметрам. На основе предложенного подхода

синтезированы обнаружитель разладки неизвестной дисперсии и измеритель момента разладки и дисперсии случайного процесса, реализуемые в виде типовых одноканальных устройств. С использованием найденных общих выражений для решающих статистик предложены аналитические способы расчета характеристик синтезированных обнаружителя и измерителя, в том числе с учетом аномальных ошибок. Полученные теоретические результаты подтверждены экспериментально, с помощью статистического моделирования на ЭВМ. В частности, установлено, что разработанные алгоритмы обнаружения и измерения разладки неизвестной дисперсии случайного процесса являются работоспособными, а асимптотически точные формулы для их характеристик удовлетворительно согласуются с соответствующими экспериментальными данными в широком диапазоне выходных отношений сигнал/шум.

В заключении подведены итоги проведенных исследований, сформулированы выводы по работе в целом.

Исследования, выполненные в диссертационной работе Сай Си Ту Мин, и их результаты обладают научной новизной, заключающейся прежде всего в обобщении методики статистического анализа информационных процессов со скачкообразным изменением свойств в неизвестный момент времени, основанном на аппроксимации приращения решающей статистики (в области надежной оценки разрывного параметра) и самой решающей статистики (в области аномальной оценки разрывного параметра) марковским случайным процессом диффузионного типа. С помощью данной методики автору удалось получить общие аналитические выражения для характеристик обнаружения и оценки момента скачка (в том числе при нарушении свойства ее состоятельности) с учетом возможных аномальных решений. Также следует отметить новую методику синтеза алгоритмов обнаружения и измерения времени разладки статистических характеристик случайных процессов в условиях параметрической априорной неопределенности, основанную на пренебрежении величинами порядка и менее времени корреляции анализируемого информационного процесса. Использование данной методики позволяет получать одноканальные алгоритмы обработки, более универсальные и технически более простые по сравнению с известными многоканальными вариантами (например, представленные в работе обнаружители и измерители скачкообразного изменения неизвестных энергетических параметров низкочастотных и высокочастотных быстрофлуктуирующих случайных процессов). Определенный интерес представляет также способ аналитического расчета характеристик (плотности вероятности и центральных моментов) оценки времени разладки информационного процесса с учетом «аномальных» эффектов при строго монотонной (во всей области определения) сигнальной функции решающей статистики. До настоящего времени указанные характеристики теоретически удавалось найти только при больших отношениях сигнал/шум.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации Сай Си Ту Мин подтверждается корректным использованием современного математического аппарата описания рассматриваемых информационных (случайных) процессов), совпадением их в частных или предельных случаях с известными ранее, а также экспериментальными данными, полученными с помощью статистического моделирования. Диссертация Сай Си Ту Мин написана строгим научным языком. Содержание автореферата адекватно отражает содержание диссертации, а ее основные результаты с необходимой полнотой опубликованы в научной печати.

Практическое приложение результаты диссертации могут найти в учреждениях, организациях и предприятиях радиотехнического комплекса (Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Институт космических исследований РАН, АО «Особое конструкторское бюро Московского энергетического института», АО «Научно-исследовательский институт точных приборов», АО «Концерн «Созвездие», ОАО «Концерн «РТИ Системы» и др.) при проектировании новых перспективных локационных и связных систем, систем мониторинга сигналов сложной и априори неизвестной формы, систем телесигнализации и телеуправления.

Диссертационная работа Сай Си Ту Мин выполнена на высоком уровне и заслуживает в целом положительной оценки. В то же время по работе имеются следующие замечания:

1. Методы и алгоритмы статистического анализа разрывных сигналов рассмотрены применительно к обнаружителям и измерителям, синтезированным с помощью метода максимального правдоподобия, «работающего» в нереальном времени, в предположении, что вся обрабатываемая реализация уже получена. В работе отсутствует сравнение используемого метода с другими подходами, в частности, с методами, работающими в реальном времени.

2. Найденные в диссертации общие формулы для характеристик обнаружения и измерения сигнала с несостоятельной оценкой разрывного параметра в пределе (при стремящейся к нулю области несостоятельности) не переходят в соответствующие формулы для характеристик обнаружения и измерения сигнала с состоятельной оценкой разрывного параметра.

3. Ряд важных условий, используемых в работе (например, см. (3.4), (4.4)), сформулированы чисто качественно, без каких-либо, хотя бы приближенных, количественных оценок.

4. Предложенный автором способ расчета характеристик оценки момента разладки случайного процесса с учетом «аномальных» ошибок, по нашему мнению, требует более строгого обоснования по сравнению с представленным в диссертации.

5. Неясно, насколько точность предложенных автором алгоритмов обнаружения и оценивания момента разладки отличается от потенциально достижимой.

Однако, отмеченные недостатки носят, в основном, частный характер и не снижают существенно научной и практической ценности диссертации в целом. Диссертация Сай Си Ту Мин является законченной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение актуальной имеющей широкое практическое значение задачи – разработки технически более простых, по сравнению с существующими, алгоритмов обнаружения и измерения разладки случайных процессов в условиях параметрической априорной неопределенности и методик аналитического расчета характеристик алгоритмов обработки информационных сигналов с неизвестными разрывными параметрами, имеющей значения для развития статистической теории обработки информационных сигналов и ее приложений.

Диссертация Сай Си Ту Мин «Разработка алгоритмов статистического анализа информационных сигналов со скачкообразным изменением характеристик в условиях параметрической априорной неопределенности» удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, ее содержание соответствует специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в отраслях информатики, вычислительной техники и автоматизации), а сам автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составлен по результатам выступления соискателя и обсуждения диссертационной работы на совместном заседании кафедры бионики и статистической радиофизики и кафедры информационных технологий в физических исследованиях физического факультета 17 февраля 2017 г. (протокол №10)

Отзыв подготовил заведующий кафедрой бионики и статистической радиофизики доктор физико-математических наук по специальности 01.04.03- радиофизика, 05.12.01-теоретические основы радиотехники, профессор

Мальцев Александр Александрович

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»,

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

Телефон: (831)462-30-03

Адрес электронной почты: unn@unn.ru

Адрес официального сайта: <http://www.unn.ru>

