

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Сай Си Ту Мин “Разработка алгоритмов статистического анализа информационных сигналов со скачкообразным изменением характеристик в условиях параметрической априорной неопределенности”, представленную 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)

### 1. Актуальность работы

Задача статистического анализа скачкообразного изменения параметров информационных процессов, наблюдаемых на фоне помех, имеет широкие приложения в технической и медицинской диагностике, теории управления, при обработке данных измерений и пр. Полученные к настоящему времени конструктивные результаты в этой задаче описывают достаточно большое число частных случаев, однако общие формулы для характеристик алгоритмов обработки разрывных сигналов на фоне коррелированных гауссовских помех в литературе не приводились. В известных работах при синтезе же алгоритмов обнаружения и оценивания моментов разладки случайных процессов помимо предположения о гауссовском характере наблюдаемых данных зачастую накладывались дополнительные ограничения: предполагалось, что отсчеты наблюдаемого процесса статистически независимы, либо класс полезных сигналов описывается моделями авторегрессии (авторегрессии-скользящего среднего) и т.д. Кроме того, синтез алгоритмов обнаружения и измерения момента разладки во многих случаях проводился в условиях полной априорной определенности относительно неинформативных параметров анализируемого случайного процесса. В относительно немногочисленных работах по определению разладки гауссовских случайных процессов с неизвестными неинформативными параметрами описаны достаточно сложные итерационные алгоритмы, работоспособные только при весьма больших отношениях сигнал-шум. При этом вопрос об эффективности функционирования предлагаемых обнаружителей и измерителей момента разладки, как правило, оставался открытым, поскольку в силу не дифференцируемости решающей статистики (ни в каком вероятностном смысле) невозможно использовать классические методы анализа (метод

малого параметра и др.) и определить хотя бы потенциальную точность измерения моментов разладки.

В этой связи диссертационная работа Сай Си Ту Мин, посвященная статистическому анализу разрывных информационных сигналов и получению новых, технически простых и достаточно общих алгоритмов обнаружения и измерения разладки случайных процессов в условиях параметрической априорной неопределенности с асимптотически точными формулами для их характеристик, представляется важной и актуальной, обладает научной новизной и практической направленностью.

## 2. Краткое содержание диссертации

В **первом** разделе диссертации выполнено обобщение методики статистического анализа максимально-правдоподобных алгоритмов обработки сигналов с неизвестным разрывным параметром на основе асимптотического (при большом отношении сигнал-шум) описания решающей статистики в малой окрестности точки максимума марковским случайным процессом диффузионного типа (метод локально-марковской аппроксимации). Найдены аналитические выражения для асимптотических вероятностей ошибок для обнаружителей и измерителей разрывных квазидетерминированных и гауссовских сигналов, в том числе с учетом аномальных эффектов, возникающих при не слишком больших отношениях сигнал-шум. Установлено удовлетворительное согласие полученных теоретических формул с результатами модельных экспериментов в широком диапазоне значений параметров анализируемого информационного процесса. Полученные общие формулы конкретизированы для решения задач обнаружения и измерения неизвестных моментов появления прямоугольного видеоимпульса и случайного радиоимпульса, наблюдаемых на фоне белого шума и широкополосной гауссовской помехи.

Во **втором** разделе диссертации исследованы особенности статистического анализа квазидетерминированного и случайного (гауссовского) сигнала с неизвестным разрывным параметром, наблюдаемого на фоне гауссовских помех, при невозможности состоятельного оценивания этого параметра в интервале его возможных значений. В условиях высокой апостериорной точности найдены асимптотические (при большом отношении сигнал-шум) выражения для вероятностей ошибок обнаружителей и измерителей разрывных сигналов. Рассмотрено влияние аномальных эффектов на качество выносимых решений. Показано удовлетворительное согласование теоретических

результатов с данными модельных экспериментов в широком диапазоне выходных отношений сигнал-шум. Проиллюстрировано применение полученных общих формул для определения эффективности функционирования обнаружителей и измерителей параметров импульсных сигналов (прямоугольного видеоимпульса либо случайного радиоимпульса) с неизвестным временным положением и неточно известной длительностью при наличии в наблюдениях белого шума и широкополосной гауссовской помехи.

В **третьем** разделе предложен новый способ определения момента скачкообразного изменения неизвестного математического ожидания гауссовского процесса с полосовым спектром мощности неизвестной интенсивности. Способ основан на новых аппроксимациях решающих статистик (при малых временах корреляции процесса по сравнению с интервалом наблюдения) для проверки гипотез об отсутствии и наличии разладки наблюдаемого процесса и одновременного оценивания момента разладки и энергетических параметров наблюдаемого процесса. Выполнена максимизация этих решающих статистик по неизвестным параметрам. Для обнаружителя и измерителя разладки, синтезированных в результате указанного теоретического анализа, были разработаны структурные схемы их практической реализации в виде достаточно простых одноканальных устройств.

Для синтезированных алгоритмов с помощью метода локально-марковской аппроксимации, изложенного в первом разделе, были найдены асимптотически точные (при большом отношении сигнал-шум) выражения, определяющие вероятности ошибок 1-го и 2-го рода при обнаружении момента разладки, а также величины смещения и рассеяния при оценивании момента разладки. Эффективность новой методики аналитического расчета характеристик точности обнаружения и оценивания момента разладки с учетом аномальных ошибок была проиллюстрирована с помощью статистического моделирования на ЭВМ. Результаты моделирования показали, что предложенные обнаружитель и измеритель момента разладки являются работоспособными, а теоретические формулы для вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода при обнаружении разладки и для условного смещения и рассеяния оценки момента разладки удовлетворительно согласуются с соответствующими величинами, полученными при моделировании, в широком диапазоне значений параметров анализируемого процесса.

В **четвертом** разделе на основе новых аппроксимаций решающих статистик при различных гипотезах и максимизации этих статистик по



неизвестным параметрам предложен технически простой способ определения скачкообразного изменения неизвестной дисперсии высокочастотного быстрофлуктуирующего гауссовского процесса. С помощью указанного подхода разработаны структурные схемы соответствующих одноканальных приемных устройств.

На основе общих соотношений, приведенных в первом и третьем разделах, получены аналитические формулы для расчета асимптотических характеристик синтезированных обнаружителя и измерителя в условиях высокой апостериорной точности и с учетом аномальных эффектов. Выполнена экспериментальная проверка полученных теоретических результатов с помощью статистического моделирования на ЭВМ. Результаты моделирования позволяют утверждать, что предложенные обнаружитель и измеритель разладки неизвестной дисперсии случайного процесса являются работоспособными, а формулы, описывающие эффективность их функционирования, удовлетворительно согласуются в широком диапазоне выходных отношений сигнал-шум с соответствующими величинами, полученными при моделировании.

**В заключении** подведены итоги проведенных исследований, приведены основные результаты, полученные в диссертации, и сформулированы выводы по работе в целом.

### 3. Научная новизна, обоснованность и достоверность результатов исследований

3.1. Предложена общая методика статистического анализа квазидетерминированных и случайных гауссовских сигналов с неизвестным скачкообразно изменяющимся (разрывным) параметром, наблюдаемых на фоне коррелированных гауссовских помех при больших отношениях сигнал-шум.

3.2. На основе предложенной методики получены общие формулы для характеристик ошибочных решений обнаружителей скачкообразного изменения (разладки) разрывного параметра и измерителей момента этой разладки для указанных выше сигналов в условиях, когда оценки разрывного параметра являются или не являются состоятельными.

3.3. Предложены новые способы получения технически простых и достаточно универсальных алгоритмов обнаружения разладки и измерения моментов разладки разрывных параметров гауссовских процессов в предположениях быстроты их флуктуаций (сильное условие) или равномерности спектральной плотности в заданной полосе частот (слабое

условие). Синтезированы алгоритмы указанных новых обнаружителей и измерителей моментов разладки и показаны возможности их практической реализации. Найдены аналитические выражения для характеристик эффективности функционирования синтезированных обнаружителей и измерителей разладки быстро флуктуирующих гауссовских сигналов, наблюдаемых на фоне помех при больших отношениях сигнал-шум

3.4. Разработаны способы реализации на ЭВМ алгоритмов обработки информационных процессов с разрывными параметрами, позволяющие экономить вычислительные и временные ресурсы.

3.5. С помощью статистического моделирования установлены границы применимости полученных теоретических результатов. Определены условия применимости того или иного алгоритма обработки в зависимости от требований, предъявляемых к степени простоты его технической реализации и качеству функционирования.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации подтверждается:

- 1) корректным использованием математического аппарата теории вероятностей, теории случайных процессов и математической статистики;
- 2) хорошим согласием полученных теоретических формул для эффективности функционирования новых алгоритмов обнаружения и оценивания разладки с данными статистического имитационного моделирования;
- 3) совпадением в ряде частных случаев общих формул для характеристик алгоритмов обнаружения и измерения информационных разрывных сигналов с известными ранее;
- 4) апробацией полученных результатов в научной печати и выступлениях на научных конференциях.

#### 4. Практическая значимость результатов работы

Практическая ценность результатов работы состоит в том, что они позволяют использовать в разработках информационных систем новые алгоритмы статистического анализа импульсных сигналов, наблюдаемых на фоне помех. Найденные теоретические зависимости для характеристик эффективности алгоритмов обработки квазидетерминированных и случайных процессов с разрывными параметрами позволяют сделать обоснованный выбор между предложенными в работе новыми алгоритмами и применявшимися ранее алгоритмами в зависимости от имеющейся априорной информации и в соответствии с требованиями,

предъявляемыми к качеству алгоритма обработки и к степени простоты его технической реализации. Результаты работы могут найти практическое применение при

- обработке радио-, гидролокационных и оптических сигналов,
- систем мониторинга сложных радиосигналов и сигналов, возбуждаемых природными процессами,
- систем контроля и управления технологическими процессами с учетом возможного скачкообразного изменения режимов их работы,

Результаты работы могут быть использованы на предприятиях и в организациях, занимающихся разработкой и проектированием перспективных локационных систем, систем мониторинга природных процессов, систем передачи и обработки информации, в частности, в таких организациях как ОАО «Концерн «РТИ Системы», ОАО «Научно-исследовательский институт космического приборостроения», ФГУП «Московское машиностроительное производственное предприятие «Салют», МРТИ РАН, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, ИКИ РАН и др.

#### 5. Апробация работы и публикации по теме исследования

По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 1 монография, 1 статья в журнале, рекомендованном ВАК РФ для опубликования диссертационных исследований, 3 статьи в журналах и изданиях, индексируемых в международных базах Web of Science/Scopus, и 4 публикации в сборниках материалов конференций. Результаты диссертации докладывались на 9 международных конференциях и семинарах.

#### 6. Замечания по диссертации

6.1. Полученные автором общие формулы для характеристик оценки разрывного параметра являются лишь асимптотически точными (при условии неограниченного возрастания выходного отношения сигнал-шум). Вопрос о точности данных формул при конечных энергетических отношениях остается открытым.

6.2. При решении задач разладки не указаны количественные условия, при которых флуктуации анализируемого случайного процесса можно считать «быстрыми», и, как следствие, не представляется возможным оценить количественные погрешности приближенных формул (3.5), (4.5) для решающих статистик при тех или иных значениях параметров реализации наблюдаемых данных.

6.3. Вероятности пропуска разрядки в разделах 3 и 4 рассчитаны различными способами. Однако обоснования по выбору и применению того или способа расчета для конкретной ситуации отсутствуют. Также остается неясным, какой способ расчета обеспечивает лучшую точность аппроксимации зависимостей вероятности пропуска разрядки при конечных значениях энергетических параметров анализируемого процесса.

6.4. Формулы для характеристик оценок энергетических параметров в рассмотренных задачах разрядки получены без учета возможных аномальных ошибок при оценивании момента разрядки, что несколько снижает их общность.

### 7. Заключение по диссертации

Содержание диссертационной работы соответствует теме, а сама диссертация является законченной научно-исследовательской работой и может быть квалифицирована как решение актуальной научной задачи, имеющей значение для развития радиопромышленности страны, а именно – задачи повышения эффективности обнаружения и измерения скачкообразных изменений характеристик информационных процессов при наличии их случайных искажений в условиях параметрической априорной неопределенности.

Содержание автореферата отражает основное содержание диссертации, а ее результаты достаточно полно опубликованы в научной печати.

Указанные в п. 6 недостатки носят частный характер и не снижают существенно качество работы в целом.

### 8. Выводы по диссертации

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 (п.п. 9-14), 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 ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.



Официальный оппонент:  
ведущий научный сотрудник лаборатории  
регистрации и интерпретации волновых полей  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института теории прогноза  
землетрясений и математической геофизики  
Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук  
(01.04.02 – Геофизика),  
профессор



Кушнир Александр  
Федорович  
E-mail: afkushnir@gmail.com

03.03.2017

Адрес: 117997, г. Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, д. 84/39, строение  
14; телефон: (495) 333-53-55; E-mail: mitpan@mitp.ru; адрес сайта:  
<http://www.mitp.ru>

Подпись ведущего научного сотрудника ИТПЗ РАН А.Ф. Кушнира  
удостоверяю.

Ученый секретарь ИТПЗ РАН



Кузнецов И.В.