

Сведения о выполненных работах в 2019 году  
по проекту **«Новые робастные эффективные статистические методы обработки  
сигналов и изображений в стохастических системах»**,  
поддержанному Российским научным фондом  
Соглашение № 17-11-01049

Руководитель д-р физ.-мат. наук Пергаменщиков Сергей Маркович

В ходе выполнения проекта проводились работы по развитию новых эффективных робастных статистических методов параметрической и непараметрической идентификации, позволяющих проводить синтез и анализ скоростных обладающих повышенной помехоустойчивостью статистических алгоритмов обработки сигналов и изображений в стохастических динамических системах, в сложных телекоммуникационных и навигационных системах, описываемых стохастическими разностными и стохастическими дифференциальными уравнениями, содержащими импульсно действующие шумовые компоненты с неизвестными вероятностными и спектральными характеристиками и со сложной структурой зависимости. Развита и проанализирована статистическая процедура выбора модели для оценивания непараметрических сигналов и изображений. При этом статистический анализ осуществлялся на основе робастных критериев, т.е. когда качество оценивания сигнала характеризуется максимальным значением среднеквадратической точности по всему классу возможных распределений помех, действующих на передаваемые сигналы и изображения в каналах связи. Метод робастного оценивания позволяет синтезировать численные статистические алгоритмы, обладающие высокой помехоустойчивостью, т.е. обладают стабильными точностными характеристиками при непредвиденном изменении распределений шумов в канале связи в достаточно широких пределах. Для квадратичных робастных рисков получены неасимптотические точные оракульные неравенства, оценивающие сверху риск процедуры выбора моделей минимальным риском по всему выбранному семейству проекционных оценок, умноженным на коэффициент сколь угодно близкий к единице. С помощью таких неравенств определяется наилучшая оценка в выбранном классе проекционных оценок, что позволяет синтезировать эффективные статистические алгоритмы оценивания без использования основных параметров регулярности неизвестных сигналов и изображений, т.е. решать задачу эффективного оценивания в адаптивной постановке.

На основе улучшенных методов оценивания разработаны процедуры выбора модели для адаптивного оценивания непараметрического сигнала, наблюдаемого на фоне скачкообразного шума Леви. Процедуры выбора моделей строятся на основе взвешенных проекционных оценок с заменой оценок наименьших квадратов на их улучшенные версии. Проанализирован эффект улучшения неасимптотической точности оценивания. Установлено, что для непараметрического оценивания улучшение точности происходит на порядок существеннее, чем в параметрическом случае, так как коэффициент улучшения прямо пропорционален размерности

параметров, которая стремится к бесконечности для непараметрических сигналов. Этот эффект впервые обнаружен для задач улучшенного оценивания в ходе реализации проекта. На основе метода Монте-Карло были проведены численные моделирования, иллюстрирующие на практике теоретические статистические выводы.

На основе процедур кумулятивных сумм (CUSUM) и Робертса-Ширяева синтезированы и проанализированы новые оптимальные последовательные процедуры скорейшего обнаружения сигналов, разладок и сбоев в общих стохастических динамических системах с дискретным временем как с известными, так и с неизвестными сигнальными распределениями. Причем оптимальность установлена в классе всех последовательных процедур обнаружения с вероятностями ложных тревог стремящимися к нулю. На основе информационной дивергенции Кульбака-Лейблера развит новый робастный последовательный метод обнаружения сигналов в случае, когда в наблюдениях присутствует бесконечномерный мешающий параметр, например, неизвестные распределения шумовых воздействий. Установлено, что для обеспечения свойств оптимальности в таких задачах, нужно строить процедуры CUSUM на основе сигнальных распределений, которые минимизируют дивергенцию Кульбака-Лейблера, т.е. для которого нижняя граница для рисков становится максимальной. Другими словами, оптимальность в минимаксном смысле для робастных рисков реализуется на процедурах, настроенных на самый худший случай. Такой подход применяется в задачах робастного оценивания во временных рядах, а вот в задачах робастного обнаружения был применен впервые в данном проекте.

Выполнены синтез, анализ и практическая реализация высокоскоростных цифровых когерентных и некогерентных демодуляторов сигналов с различными видами цифровой модуляции (ФМ, ОФМ, КАМ и др.). Установлены работоспособность предложенных устройств обработки, а также эффективность, оптимальность и высокая (совпадающая с потенциальной) помехоустойчивость в гауссовских шумах.

Синтезированы и проанализированы оптимальные и квазиоптимальные алгоритмы обнаружения и оценивания произвольного числа неизвестных параметров сигнала, часть из которых являются регулярными, а часть – разрывными. Представлена обобщенная методика определения предельных статистических характеристик составных сингулярных случайных процессов.

Найдена структура новых оптимальных (максимально правдоподобных) и квазиоптимальных (квазиправдоподобных) алгоритмов обнаружения и оценки средней мощности случайной компоненты и амплитуды регулярной компоненты радиосигнала с неизвестной начальной фазой, получены асимптотически точные выражения для характеристик синтезированных обнаружителей и измерителей. Показано, что учет регулярной компоненты сигнала позволяет существенно повысить качество обнаружения и точность оценки средней мощности случайной компоненты сигнала по сравнению с известными алгоритмами обработки, не учитывающими наличие регулярной компоненты.

Решена задача определения геометрических, кинематических и динамических характеристик движущихся объектов (транспортных средств). Разработаны модели описания колебательных движений транспортного средства и алгоритмы компьютерного зрения для обработки серии изображений объектов с целью высокоточного измерения параметров состояния транспортного средства на дороге. Выполнены синтез, анализ и практическая реализация системы распознавания сложных объектов на основе комплексной обработки их изображений в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн.

Все полученные результаты являются новыми, опубликованы в высокорейтинговых международных журналах (более 40 статей), обсуждались на основных международных симпозиумах, конференциях и семинарах по статистическим методам обработки информации и моделированию (более 60 докладов). Кроме того, в ТГУ были организованы три международные конференции, на которых обсуждались основные результаты проекта. Результаты проекта по статистическим методам обработки информации были внедрены в учебные курсы и НИР международной программы магистратуры «Математический анализ и моделирование», реализуемой ТГУ совместно с четырьмя европейскими университетами (<http://master-mam.eu>).