



ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Симонова Романа Валерьевича на тему «Развитие оптимальных методов обработки ультразвуковых сигналов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В современной радиофизике и радиотехнике сложилась парадоксальная ситуация: несмотря на бурное развитие микроэлектроники и вычислительной техники, базовые алгоритмы обработки сигналов во многих прикладных областях остаются фундаментально ограниченными принципами, сформулированными несколько десятилетий назад. Особенно ярко это проявляется в ультразвуковой акустике, где доминирование спектральных и корреляционных методов, наследуемое из радиотехники, создало своеобразный «интеллектуальный барьер» для дальнейшего прогресса. Физические особенности ультразвука – резонансный характер преобразователей, частотно-зависимое затухание, структурный шум – делают прямое заимствование радиотехнических подходов не только неэффективным, но и методологически некорректным.

Диссертационная работа Р.В. Симонова представляет собой системную и глубокую попытку преодоления этого барьера через переосмысление самих основ обработки сигналов применительно к ультразвуковой акустике. Актуальность работы определяется не просто потребностью в более точных алгоритмах, а необходимостью смены научной парадигмы – перехода от эвристических методов «подстройки» классических подходов к созданию принципиально новой методологии, основанной на строгих положениях теории статистических решений.

Особую ценность работе придает ее междисциплинарный характер. Автор успешно интегрирует аппарат современной статистической радиофизики, теорию оптимального приема, методы численного моделирования и экспериментальную акустику, создавая целостную научную картину. Такой синтез является признаком зрелого исследования и соответствует лучшим традициям российской научной школы.

2. ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Научная значимость диссертации проявляется на нескольких взаимосвязанных уровнях, каждый из которых представляет самостоятельную ценность.

Методологический прорыв заключается в последовательном применении байесовского подхода к задачам ультразвуковой акустики. Автор убедительно демонстрирует, что классические операторные методы являются не универсальным инструментом, а лишь частным случаем метода максимального правдоподобия, оптимальным только для вырожденной ситуации с одним сигналом при отсутствии амплитудных искажений. Этот вывод имеет глубокие методологические последствия, поскольку переводит соотношение неопределенности из статуса фундаментального ограничения в разряд следствия применения конкретного класса методов обработки.

Теоретическое достижение работы связано с решением ключевой проблемы практической реализации метода максимального правдоподобия – проблемы множественности локальных экстремумов. Предложенный автором подход на основе преобразованного функционала правдоподобия с подстановкой Хелстрорма представляет

собой изящное и эффективное решение, позволяющее преодолеть фундаментальное противоречие между теоретической оптимальностью ММП и его практической нереализуемостью при обработке сигналов с неизвестными временными параметрами.

Наиболее ярким научным результатом, на мой взгляд, является открытие и систематическое исследование феномена сингулярных шумовых максимумов. Это явление, ранее не описывавшееся в литературе, возникает как фундаментальное следствие статистической природы обработки неортогональных сигналов. Автор не только идентифицировал эту проблему, но и разработал комплексный подход к ее решению, включающий как теоретический анализ сингулярности корреляционных матриц, так и практические алгоритмы подавления шумовых выбросов на основе адаптивных порогов.

Особого внимания заслуживает разработанный автором метод оценки количества сигналов в реализации на основе анализа минимума функционала правдоподобия. Этот метод устраняет принципиальный пробел в существующей теории, где количество сигналов обычно предполагается известным априори. Предложенный подход имеет глубокое статистическое обоснование и открывает новые возможности для создания полностью автономных систем обработки.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ И ПОТЕНЦИАЛ ВНЕДРЕНИЯ

Практическая значимость работы носит стратегический характер и затрагивает несколько ключевых технологических направлений.

В медицинской диагностике разработанные методы открывают путь к созданию нового поколения ультразвуковых сканеров с принципиально новыми характеристиками. Возможность надежного разрешения сигналов от близко расположенных тканевых структур (сосудов, протоков, патологических образований) при сохранении высокой помехозащищенности может кардинально улучшить раннюю диагностику онкологических, кардиологических и сосудистых заболеваний. Особенно важно, что это достигается преимущественно за счет совершенствования алгоритмов, что позволяет модернизировать парк существующего оборудования без его дорогостоящей замены.

В промышленной дефектоскопии разработанные методы позволяют решать одну из самых сложных проблем – обнаружение и идентификацию кластеров мелких дефектов в материалах со сложной структурой. Традиционные методы в таких условиях часто оказываются неэффективными из-за интерференции полезного сигнала и структурного шума. Алгоритмы раздельного обнаружения, предложенные автором, позволяют статистически обоснованно выделять сигналы от близко расположенных дефектов, что напрямую влияет на безопасность и надежность критически важных объектов – от авиационных конструкций до энергетических установок.

В гидроакустике значение работы определяется двумя факторами. Во-первых, это повышение разрешающей способности гидролокаторов, что критически важно для задач картографирования дна, навигации и классификации подводных объектов. Во-вторых, и это даже более значимо, разработанные методы пространственно-временной обработки позволяют эффективно бороться с реверберационными помехами – основным ограничивающим фактором в подводной акустике.

Важно подчеркнуть, что автор представил не просто теоретические разработки, но и провел их всестороннюю экспериментальную проверку на специально созданных макетах. Это свидетельствует о высокой степени зрелости исследований и их готовности к практической реализации.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается за счет использования апробированного математического аппарата, методов компьютерного моделирования, корректности используемых вводимых допущений и ограничений, непротиворечивости и строгой аргументации полученных теоретических результатов.

4. КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Несмотря на бесспорные достоинства работы, считаю необходимым высказать ряд замечаний:

1. В работе глубоко исследованы возможности метода максимального правдоподобия, однако сравнительный анализ с другими современными методами сверхразрешения (такими как методы на основе разрешения сингулярных значений или

адаптивные алгоритмы обработки в антенных решетках) представлен недостаточно полно. Введение такого анализа позволило бы более рельефно выделить преимущества и возможные ограничения предложенного подхода.

2. При описании экспериментальных исследований хотелось бы видеть более развернутую метрологическую характеристику измерительных комплексов. Более подробное описание процедур калибровки, оценки погрешностей и условий проведения экспериментов повысило бы воспроизводимость результатов и убедительность выводов.

3. Учитывая высокий практический потенциал работы, автору рекомендуется оформить патентные заявки на ключевые алгоритмические решения, в частности на метод подавления сингулярных шумовых максимумов и метод оценки количества сигналов в реализации.

Отмеченные замечания носят частный характер и не влияют на основные научные результаты и выводы диссертации.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационное исследование Симонова Р.В. представляет собой пример синтеза фундаментальной науки и практической инженерии. Работа выполнена на высоком научном уровне и содержит решение значительной проблемы, имеющей как теоретическое, так и прикладное значение.

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы достаточно широко апробированы и опубликованы в научно-технических сборниках.

Автор продемонстрировал глубокое понимание современного состояния проблемы, владение аппаратом статистической радиофизики и умение получать новые, научно обоснованные результаты. Личный вклад соискателя является определяющим на всех этапах исследования.

На основании всего изложенного, считаю, что диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, которая представляет собой крупное научное достижение в области радиофизики, полностью соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», а ее автор Симонов Р.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Главный научный сотрудник лаборатории моделирования и обработки сигналов
АО «Российский институт мощного радиостроения»

Егоров Владимир Викторович,
доктор технических наук, профессор

В.В. Егоров
16.01.2016

Егоров В.В.

Д.т.н. по спец., 20.02.12

E-mail: egorovrimr@mail.ru

Тел.: +7 (812) 328-45-50, доб. 807

Подпись Егорова В.В. заверяю

Ученый секретарь АО «Российский институт мощного радиостроения»

Т.С. Андреева
Андреева Т.С.

