

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Новосибирский государственный
технический университет»

д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки
Российской Федерации

А.С. Вострецов
22.09.2017



А.С. Вострецов

Отзыв ведущей организации

на диссертацию Суханова Дмитрия Яковлевича «Многомерная согласованная фильтрация в радио- и ультразвуковой томографии»,
представленную на соискание учёной степени доктора физико-
математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика

Методы радиотомографии и ультразвуковой томографии широко востребованы современной промышленностью, коммунальными службами и службами безопасности. Радиотомографические методы становятся одними из обязательных инструментов в программах исследования космических тел и планет. Широкий диапазон решаемых задач способствует развитию подповерхностной радиолокации как отдельного направления дистанционного зондирования. Благодаря высокой проникающей способности и сравнительно короткой длине волны сверхвысокочастотные радиоволны позволяют исследовать объекты, скрытые на глубинах порядка одного метра и визуализировать их с разрешением порядка сантиметра. Этого достаточно для задач обнаружения пластиковых противопехотных мин, археологических ценностей, элементов подземной инфраструктуры, а также для

исследования поверхности дорог на предмет выявления дефектов и признаков разрушения. Радиоволны метрового диапазона тоже находят применение в подповерхностной радиотомографии и позволяют «заглядывать» на глубины в сотни метров, что имеет значение для геологических исследований. Полученные радиолокационные данные сложно интерпретировать, требуется помощь высококвалифицированных специалистов для определения типа и формы скрытого объекта. Необходима специализированная обработка радиолокационных данных для восстановления удобно читаемых радиоизображений скрытых объектов. Подобные задачи успешно решаются для однородных сред или простейших случаев плоских поверхностей раздела сред. Однако наличие неоднородных структур в фоновой среде приводит к существенным искажениям фазовых траекторий распространения волн, что требует учёта. **Актуальны** задачи создания методов обработки данных дистанционного волнового зондирования, учитывающих неоднородные фоновые среды, обладающих высоким быстродействием, и позволяющих максимально упростить аппаратную часть зондирующих систем.

Целью рассматриваемой диссертации является разработка методов волновой томографии, позволяющих исследовать объекты, скрытые за неоднородными преградами при различных условиях дистанционного зондирования, включая неплоские апертуры и мультистатические зондирующие системы. Вместе с этим затронута проблема оптимизации радиозондирующих систем, что направлено на создание быстродействующих и аппаратно простых радиотомографов.

Диссертация содержит введение, восемь глав и заключение. Во введении обосновывается актуальность, формулируются цель и задачи работы, представлены защищаемые положения.

Диссертационная работа Суханова Д.Я. вносит существенный вклад в развитие методов волновой томографии. Предложены локационные сверхширокополосные, трансмиссионные монохроматические и

мультистатические методы волновой томографии. Кроме того развиты методы численного моделирования радио- и ультразвуковых томографических систем.

Отличительной особенностью диссертации является обобщенный и универсальный подход к обработке данных радиоволнового зондирования для различных схем измерений, типов сигналов, фоновых неоднородных сред на основе многомерной согласованной фильтрации. На основе данного подхода, путём обоснованного применения приближений и аппроксимаций, развиваются быстродействующие методы для каждого рассматриваемого случая.

Новизна первого защищаемого положения заключается в сочетании приближения фазового экрана и метода пространственно-согласованной фильтрации для восстановления пространственного спектра скрытых за неровной поверхностью неоднородностей, в отличие от известного метода Столта, не позволяющего учитывать влияние неровных поверхностей. Второе положение представляет новую идею о том, что пространственный спектр неоднородностей восстановим из сверхширокополосных локационных измерений на цилиндрической поверхности, что, в отличие от метода миграции во временной области, позволяет значительно ускорить обработку данных зондирования. В третьем положении новизну представляет сочетание когерентной и некогерентной обработки полей многокурсного трансмиссионного зондирования. В отличие от методов трансмиссионной лучевой томографии это позволяет учитывать эффекты дифракции и более точно восстанавливать теневые изображения объектов. Четвёртое положение раскрывает новое свойство бистатического многопозиционного зондирования, позволяющее получать разрешение по дальности даже при использовании монохроматических сигналов за счёт пространственно согласованной фильтрации. Пятое положение содержит новизну в применении ортогональных линейных решёток излучателей и приёмников для получения трёхмерных томографических изображений за

счёт обработки полей сверхширокополосного мультистатического зондирования методом согласованной фильтрации. Существующие мультистатические зондирующие системы ориентированы на получение двумерных изображений и устранение артефактов из-за не заполнения решёток. Новизна шестого положения состоит в применении подвижного рефлектора в сочетании с линейной решёткой моностатических радиолокаторов, что позволяет, не перемещая радиолокаторы, осуществлять синтез апертуры. Данный подход отличается от существующего метода радиолокатора бокового обзора и даже позволяет получать плоские радиоизображения при монохроматическом зондировании. Седьмое положение представляет новый способ магнитоиндукционного зондирования, которое, будучи дополненным пространственной согласованной фильтрацией, позволяет получать изображения ближнеполевой томографии с повышенным разрешением. Данный метод отличается от существующих методов магнитоиндукционной интроскопии, не использующих возможности пространственной обработки информации о магнитных полях. Новым является разработанный метод радиоволновой томографии в электрически неоднородных фоновых средах на основе разбиения среды на однородные области в форме тонких призм. Быстродействие обработки на основе данного метода значительно выше, чем методов численного моделирования распространения волн на основе волнового уравнения или уравнений Максвелла с помощью конечных разностей во временной области.

Обоснованность и достоверность полученных результатов, выводов и защищаемых положений диссертации определяется применением многократно проверенных математических методов на основе уравнений, описывающих волновые процессы, и их решений. Применяются обоснованные приближения однократного рассеяния, приближение Кирхгофа, приближение фазового экрана. Все положения, выносимые на защиту, их

достоверность подтверждаются согласованностью результатов экспериментов и численного моделирования. Поскольку целью томографического исследования является восстановление изображений скрытых объектов, достоверность предложенных томографических методов подтверждается совпадением характерных геометрических параметров реального объекта и его восстановленного изображения.

Научная значимость результатов диссертации главным образом состоит в решении задач радиотомографии для неоднородных фоновых сред, в частности плоских и неровных границ раздела сред и преград в виде диэлектрических объектов произвольной формы. Отдельную ценность представляют предложенные методы численного моделирования распространения радиоволн в неоднородных средах для моностатических и мультистатических зондирующих систем, которые могут широко применяться не только в радиотомографических исследованиях, но и для исследований волновых полей в неоднородных средах. Не менее важными являются разработанные методы обработки полей для волновой томографии с зондированием на неплоских апертурах, которые значительно превосходят существующие методы миграции по быстродействию. Раскрыт потенциал бистатических зондирующих систем, доказана возможность получения разрешения по дальности при монохроматическом зондировании, что представляет большую значимость для научных исследований в областях радиолокации и радиотомографии.

С практической точки зрения представленные в диссертации результаты могут быть использованы при создании быстродействующих устройств волновой томографии для решения задач дефектоскопии. Предложенный метод радиотомографии цилиндрического объёма может применяться в досмотровых системах портального типа для обеспечения безопасности на транспорте. Разработанные методы томографии через неровные границы раздела сред или через диэлектрически неоднородные фоновые среды могут применяться в подповерхностной радиолокации для

поиска объектов, скрытых под землёй, что имеет широкие перспективы применения для археологии, геологии, исследований фундаментов зданий, задач разминирования.

На основании анализа диссертации можно сделать вывод, что поставленные в ней задачи решены и сформулированные цели достигнуты.

Содержание работы достаточно полно представлено в публикациях автора, имеется 46 публикаций в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов диссертаций, 1 монография. Технические решения, предложенные в работе, защищены 3 патентами. Результаты работы обсуждались и нашли отражение в материалах 21 всероссийских и международных конференций. Содержание автореферата соответствует диссертации.

В ходе изучения диссертации появились следующие замечания:

1. Представляется, что заявленные претензии на использование согласованной фильтрации не вполне соответствуют идеологии согласованной фильтрации, основная направленность которой связана с максимальным ослаблением помех. При этом, естественно, используется вся доступная информация как о характеристиках полезных сигналов, так и помех. Влиянию помех в диссертации внимания уделено не настолько, чтобы можно было говорить о согласованной фильтрации.
2. Достаточно большая часть 3 главы посвящена исследованиям влияния неровной поверхности на проходящее поле, однако данные исследования не отражены в результатах диссертации.
3. Не определены границы применимости приближения фазового экрана для рассматриваемой задачи радиотомографии через неровные границы раздела сред.
4. Для метода радиотомографии в цилиндрическом объёме не представлена оценка пространственного разрешения.

5. В формуле (4.3) в комплексном экспоненциальном множителе используется комплексное сопряжение вместо знака «-» перед мнимой единицей, что обосновывается фильтрацией однородных волн, однако это является приближённым решением, для которого необходимо определить границы применимости.
6. Предложенная формула (4.22), оценивающая разрешение по дальности для бистатического многопозиционного монохроматического зондирования, при определённых параметрах может давать бесконечные или отрицательные значения, что не согласуется с понятием разрешения.
7. Формула (5.13) для восстановления томограмм по данным зондирования крестовидной системой получена в приближении больших дальностей, однако в дальнейшем она применяется для объектов на расстояниях порядка размеров апертуры системы.

Тем не менее, приведенные замечания не снижают значимости и ценности представленной диссертационной работы в целом.

Диссертация Суханова Д.Я. является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложены решения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области волновой томографии. Исследования автора внесли существенный вклад в развитие методов обработки многомерных сигналов. Результаты, полученные автором, имеют существенное значение для разработки быстродействующих систем радиоволновой и ультразвуковой томографии. По своему содержанию и представленным результатам диссертация отвечает требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней ВАК РФ, соответствует специальности 01.04.03 – Радиофизика. Автор диссертации Суханов Дмитрий Яковлевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждён на расширенном научном семинаре кафедры Теоретических основ радиотехники Новосибирского государственного технического университета

«09» сентября 2015 г., протокол № 6

Отзыв составил заведующий кафедрой
Теоретических основ радиотехники
доктор технических наук,
профессор



Спектор Александр Аншелевич



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Адрес: Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20

Телефон: (383) 346-08-43(383) 346-08-43

Факс: (383) 346-02-09

Эл.почта: rector@nstu.ru

Веб-сайт: www.nstu.ru