

Отзыв официального оппонента,  
доктора технических наук Денисова Вадима Прокопьевича  
на диссертационную работу 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

Радиоволновые и ультразвуковые методы контроля и томографии, то есть послойного представления объектов, имеют широкий спектр возможных применений, от дефектоскопии до систем изучения структуры ионосферы. Современный уровень развития технологий генерации, излучения и измерения сверхвысокочастотных сигналов позволяет создавать системы высокого разрешения. Существующие методы обработки сигналов позволяют восстанавливать трёхмерные изображения рассеивающих объектов в однородных средах. Однако остаются актуальными задачи радиотомографии в неоднородных средах. Актуальны разработки методов бистатической и мультистатической томографии, позволяющие ускорить измерения и упростить измерительную аппаратуру.

В диссертации Суханова Д.Я. представлены результаты исследований радио- и ультразвуковых томографических систем, новые способы зондирования, методы обработки данных зондирования для получения изображений объектов исследования. В основе всех предложенных методов лежит метод называемый автором многомерной согласованной фильтрацией. Для каждого метода разработаны численные алгоритмы получения изображений на основе быстрого преобразования Фурье, реализуемого с помощью вычислительной техники.

Диссертация состоит из 8 глав, первая из которых носит обзорный характер и представляет существующие радиотехнические и ультразвуковые методы пространственной локализации и определения структуры объектов.

Во второй главе автор рассматривает варианты визуального представления контуров объектов при использовании моностатических радио или

ультразвуковых локаторов, перемещающихся в плоскости. Объект локации находится в однородной среде, либо скрыт плоско-слоистой средой, либо плоской границей раздела сред. Показана возможность визуализации частично затененных объектов, обусловленная дифракцией. Предлагается способ численного моделирования поля дифракции на объектах произвольной формы в приближении Кирхгофа. Теоретические соотношения проверены экспериментально.

Рассмотренные случаи плоских границ раздела сред являются идеализацией, в реальных условиях, как правило, границы раздела сред не являются плоскими, и кроме того не всегда возможно обеспечить перемещение локатора в плоскости. В связи с этим, далее, в третьей главе рассматриваются случаи зондирования пространства через неровные поверхности раздела сред. Предлагается решение задачи радиовидения путем замены неровной поверхности фазовым экраном. Кроме того рассматривается случай перемещения моностатического локатора по криволинейной, и в частности по цилиндрической поверхности. Для последнего случая автором предложен быстрый алгоритм восстановления трёхмерных изображений обнаруженных объектов.

Применение моностатических локаторов не позволяет визуализировать слабоконтрастные неоднородности. Однако, как показано в диссертации, это возможно на основе применения бистатических или трансмиссионных схем измерений, которые рассмотрены в 4 главе. В частности, предложены методы восстановления вида объектов наблюдения с разрешением по дальности, на основе зондирования пространства монохроматическими сигналами. Представляет интерес определение контура излучающего элемента источника звуковых волн с помощью пассивной измерительной системы.

В пятой главе автор обращает внимание на проблему ускорения процесса измерений в радиотомографии. Для ускорения измерений предлагается применить линейные решётки излучающих и приемных антенн. Один из вариантов предусматривает наличие подвижного рефлектора, а другой основан на технологии MIMO (multiple input multiple output) и не требует механического

сканирования. Физические эксперименты подтверждают реальность радиовидения.

В шестой главе рассмотрен случай зондирования в неоднородных средах, когда преграды имеют произвольную форму и электрические характеристики, но их расположение точно известно. Рассматривается метод учёта влияния неоднородностей на основе приближения Кирхгофа.

Седьмая глава затрагивает принципиально другой частотный диапазон электромагнитного спектра – область очень низких частот (30 кГц или менее). В данном диапазоне переменные магнитные поля обладают хорошей проникающей способностью сквозь металлы и диэлектрики, а значит, могут применяться для обнаружения скрытых металлических объектов в более широком диапазоне возможностей, чем сверхвысокочастотные радиоволны. Предложен метод повышения разрешения изображений, получаемых с помощью магнитоиндукционного зондирования на основе линейной пространственной фильтрации.

В главе 8 представлены технические подробности выполнения экспериментальных исследований и дано краткое описание программного обеспечения. На некоторые из представленных устройств получены патенты на полезную модель.

В диссертации представлено семь защищаемых положений. В первом положении новизну представляет утверждение о возможности восстановления трёхмерных изображений объектов, скрытых за неровной границей раздела сред, путем ее замены фазовым экраном. Новизна второго положения заключается в утверждении о возможности получения трёхмерного изображения объектов, расположенных внутри цилиндрического объема, на основе обработки сигналов моностатического многочастотного локатора, перемещающегося по его поверхности. Новизна третьего положения заключается в утверждении о восстановимости изображений объектов с помощью многоракурсного трансмиссионного монохроматического зондирования и обработки сигналов методом пространственной согласованной фильтрации. Доказательство

возможности получения разрешения по дальности плоских объектов на основе пространственной фильтрации сигналов, излученных монохроматическим источником, при условии совместного перемещения передающего и приемного пунктов представляет новизну четвертого защищаемого положения. Пятое защищаемое положение содержит новое решение задачи восстановления трехмерного распределения рассеивающих неоднородностей системой ортогональных линейных передающей и приемной решеток на основе пространственной согласованной фильтрации сигналов. Новизна шестого защищаемого положения состоит в доказательстве того, что применение подвижного рефлектора и линейной решетки моностатических локаторов дает возможность восстановления изображения плоских объектов методом пространственно-согласованной фильтрации. Новизна седьмого положения состоит в доказательстве возможности получения изображения электропроводящих объектов с размерами много меньшими длины волны по данным зондирования переменными магнитными полями.

Достоверность всех положений подтверждается путём восстановления изображений тестовых объектов как методом численного моделирования, так и экспериментально.

Разработанные в диссертации методы позволяют: расширить области применения уже существующих георадаров на неоднородные и неровные поверхности; разработать трёхмерные системы радиовидения с многосторонним доступом; оптимизировать аппаратную часть локационных систем звуковой и радиотомографии; предложенный метод магнитоиндукционного зондирования позволит разработать устройства для обнаружения объектов, скрытых не только за диэлектрическими преградами, но и за электропроводящими.

Особенностью и положительной стороной диссертации является огромный объем математических выкладок, цифрового моделирования и экспериментальных исследований, проведенных как в области электромагнитных, так и ультразвуковых волн. Все теоретические результаты получили убедительное экспериментальное подтверждение. Существенная часть полученного материала

не отражена в положениях, выносимых на защиту, а могла бы быть отражена и успешно защищена. Думаю, что основные результаты автора получены в области программного обеспечения для обработки результатов измерений с целью обнаружения и получения изображения скрытых объектов.

По теме диссертации опубликована 71 работа, включая 46 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, 3 патента и одна монография. Содержание автореферата достаточно точно передаёт смысл диссертации.

Замечания:

1. Основополагающая формула (1.2), которая, как указано в диссертации, представляет собой в общем виде «решение обратной задачи методом согласованной фильтрации», не выводится и не обосновывается. В частности, не ясно, почему в ней используется «комплексно сопряженная аппаратная функция системы в качестве согласованного фильтра». Диссертация называется «Многомерная согласованная фильтрация в радио-и ультразвуковой томографии». Термин «томография» означает послойное представление объектов. Радиоволны не проникают в электропроводящие среды и, следовательно, не могут служить для целей томографии подобных объектов, которые большей частью и рассматриваются в диссертации. В диссертации скорее изучаются вопросы радиовидения, и в этой области получены интересные и важные результаты, отмеченные выше.

Вызывает непонимание при знакомстве с диссертацией термин «многомерная согласованная фильтрация», так как он не отражает, что с чем и как согласовывается. Фактически, в приводимых алгоритмах используется пространственно согласованная фильтрация, о чем прямо говорится при рассмотрении конкретных методов радиовидения.

2. Не имеет физического обоснования широко используемое в диссертации утверждение, что «результаты измерений для точечного рассеивателя моностатическим способом эквивалентны полю точечного

источника, излучающего на удвоенной частоте» (напр., стр.39,159, 173). В диссертации рассматриваются линейные системы и удвоенной частоте в них неоткуда взяться. Коэффициент 2 в показателе экспоненты аппаратной функции, послуживший основанием для введения удвоенной частоты, характеризует удвоенный путь волны от локатора до наблюдаемой точки и обратно.

3. В диссертации имеется целый ряд фраз, понимание которых затруднено. Например, «Бистатическое многопозиционное зондирование вдоль протяженной плоской апертуры» (стр.16). Бистатическое означает двухпозиционное. Так то или другое? И как это «вдоль протяженной плоской апертуры»?

«Плоский горизонтальный объект не будет разрешен по дальности даже в ближней зоне» (стр.67) ?

«По сравнению с импульсными широкополосными сигналами ЛЧМ сигналы имеют лучшее отношение сигнал-шум» (стр. 53). На самом деле отношение сигнал-шум зависит от многих факторов и не является характеристикой сигнала.

«Поскольку синус квадратура не измерялась, примем ее равной нулю» (стр.83)!

«Плоская схема измерений» (стр.71) !

«Дисперсия шума при усреднении уменьшается в N раз» (стр.48). В формуле (1.5), на которую делается ссылка, шумы суммируются. При этом дисперсия шума увеличивается в N раз, а не уменьшается.

Сделанные замечания ни в коем случае не являются основанием для отклонения диссертации. Считаю, что совокупность представленных в ней результатов можно квалифицировать как крупное научное достижение в области радиофизики, имеющее важное хозяйственное значение.

Таким образом, диссертация Суханова Дмитрия Яковлевича «Многомерная согласованная фильтрация в радио- и ультразвуковой томографии» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени

доктора наук, а её автор Суханов Дмитрий Яковлевич заслуживает присвоения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03– радиоп физика.

профессор кафедры  
радиотехнических систем ТУСУР

доктор технических наук,  
профессор

Вадим Прокопьевич Денисов

*В.П. Д.*

5.10.15

Подпись В.П. Денисова

заверяю

Учёный секретарь



*В.П. Д.*

*Прокопьев В.В.*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

Почтовый адрес организации: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.

Тел.: (3822) 51-05-30. E-mail: [office@tusur.ru](mailto:office@tusur.ru). Сайт: [www.tusur.ru](http://www.tusur.ru)