

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 позволят: 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. Денисов
5.10.15

Подпись В.П. Денисова

заверяю

Учёный секретарь



В.П. Денисов

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. Сайт: www.tusur.ru