

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Завьяловой Ксении Владимировны
«Трёхмерное радиовидение на основе измерения амплитуды поля интерференции»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика

Получение изображений скрытых объектов во всем мире представляет собой большой интерес. Методы радиотомографии, как один из способов восстановления изображений, в настоящее время приобретают все более широкое распространение в области подземной локации, контроле качества различных материалов, конструкций и сооружений, в частности: дорожного покрытия, медицинской диагностики, а также всевозможных системах обеспечения безопасности. Преимуществом радиотомографии по сравнению с другими существующими способами визуализации является то, что радиоволны обладают достаточно большой глубиной проникновения, безопасны для здоровья человека и могут использоваться для различных системах зондирования, с помощью радиоволн возможно неразрушающее послойное дистанционное изучение внутренней структуры объектов, непрозрачных в оптическом диапазоне волн и наблюдения объектов, находящихся в оптически непрозрачной среде. **Актуальность работы** обусловлена тем, что большинство существующих решений задачи восстановления изображений по результатам зондирования радиоволнами основано на технологиях, использующих полную информацию о радиоволновом поле, с амплитудой и фазой. Однако применение подобных технологий в миллиметровом и сантиметровом диапазонах радиовидения значительно затруднено высокой стоимостью компонентов системы зондирования, обусловленной необходимостью измерения фазы волнового поля, и усложнением схемы в целом (увеличение компонентов, их согласование, надежность, время измерений). Отсюда следует, что диссертационная работа кроме практической значимости имеет и научную, связанную с разработкой методов решения фазовой проблемы. По этой причине тема диссертации К.В. Завьяловой, без сомнения, является актуальной и своевременной.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка цитируемой литературы и одного приложения. В целом диссертация оформлена надлежащим образом и в соответствии с действующими требованиями, написана ясным языком.

Обзор и анализ существующих методов радиотомографии, современное состояние рассматриваемой проблемы, обоснование актуальности совместно с постановкой цели, формулировкой задач и научных положений содержится **во введении**.

Первая глава носит обзорный характер, в ней изложены основные математические модели распространения радиоволн, используемые в диссертации. Рассмотрены основные физические процессы, которые необходимо принимать во внимание, при решении задач радиотомографии, а также методы, используемые при обработке результатов измерений рассеянного поля для восстановления распределения неоднородностей, предложенные ранее другими исследователями.

Вторая и третья главы посвящены радиоголографическим методам восстановления изображений, когда за счет интерференции опорного и предметного сигналов возможно частичное восстановление фазовой информации. В частности, **во второй главе** рассматривается моностатический случай зондирования, решается прямая и обратная задачи распространения радиоволн, разрабатывается быстродействующий алгоритм трёхмерной фокусировки. Одним из важных результатов главы является разработка метода восстановления трёхмерных радиоизображений по измерениям амплитуды поля на различных частотах в широкой полосе путём предложенной обработки сигналов. **В третьей главе** разрабатывается радиоголографический метод восстановления радиоизображений на основе разрежённых измерений амплитуды поля интерференции предметного сигнала и различных опорных сигналов от разных источников. Завьяловой К. В. решена задача оптимизации матрицы излучателей и матрицы приёмных элементов, позволяющая минимизировать уровень артефактов при минимальном количестве излучающих и приёмных элементов, но при этом позволяющая восстановить радиоизображение плоского объекта по измерениям только амплитуды поля, что также является одним из важных результатов диссертационной работы.

В четвертой главе рассматривается случай зондирования без непосредственного использования опорного источника. Предлагается интересное решение с внесением дополнительного дифракционного экрана, позволяющим искусственно сформировать опорную волну и восстановить изображение объекта.

Пятая глава посвящена случаю, когда не возможно сформировать опорную волну. Рассматривается задача трансмиссионного и локационного ультразвукового и радиовидения плоских объектов с использованием монохроматических несинхронизированных передатчика и приёмника. При этом считается, что нет опорного сигнала, который можно использовать для определения фазы. Для нахождения распределения объекта по измеренной амплитуде поля был предложен итерационный метод решения обратной задачи распространения волн.

В заключении формулируются основные результаты и выводы диссертационной работы. Результаты работы опубликованы в 7 статьях в журналах, входящих в перечень

рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации, из них 5 статей в журналах, включенных в библиографические базы Web of Science и Scopus, также результаты докладывались на Всероссийских и Международных конференциях, и имеется патент на полезную модель.

Автореферат диссертации Завьяловой К. В. полностью соответствует ее содержанию.

Необходимо отметить следующее:

✓ Рассматривая столь непростую задачу решения фазовой проблемы в радиотомографии автором представлены несколько ее решений, для каждого из которых были построены математические модели, предложены способы решения обратной задачи восстановления изображений объектов, разработаны алгоритмы быстрого вычисления, позволяющие получать изображения в режиме реального времени лишь по амплитудным измерениям. При измерениях только лишь амплитуды продемонстрирована принципиальная возможность получения разрешения по дальности поля на различных частотах, показана возможность восстановления изображения объекта при разрежённых измерениях. Разработанные модели радиовидения для восстановления плоских изображений объектов по разрежённым измерениям амплитуды поля измерительной матрицей открывают путь для дальнейшей разработки методов с разрешением по дальности путем применения СШП сигналов и другими критериями оптимизации матриц приемных и передающих элементов. Это определяет **научную ценность** работы. К каждому предложенному решению имеются как теоритическое так и экспериментальные исследования, что говорит о том, что автор довел работу до логического конца, пройдя весь путь от построения модели до реальных экспериментов по обнаружению объектов.

✓ При этом, **новизна полученных результатов** несомненна. На основе измерений амплитуды поля при зондировании монохроматическими волнами со сканированием в широкой полосе частот впервые осуществлена трёхмерная радиотомография. Разреженной матрицей приёмников и измерениями только амплитуды поля осуществлено восстановление изображения заданного объекта с разрешением близким к дифракционному пределу, с помощью применением множества опорных источников. Впервые предложен метод восстановления изображений объектов с применением стороннего источника излучения на основе измерений поля дифракции за дифракционной решёткой.

✓ **Достоверность полученных результатов** подтверждается совпадением заданных изображений тестовых объектов с восстановленными по данным экспериментов.

Точность определяется разрешающей способности системы, определяемой длиной волны используемого излучения.

✓ Результаты работы были использованы при выполнении научно-исследовательских работ в рамках различных грантов. Отсутствие измерения фазы существенным образом упрощает систему зондирования, не требуется использование дорогостоящих высокочастотных СВЧ устройств (смесителей, волноводных трактов, антенных решеток). Все предложенные схемы измерений реализуемы на недорогой радиоэлектронной элементной базе. Несмотря на очевидную техническую простоту и дешевизну реализации разработанных методов разрешение получаемых изображений сравнимо с теоретическим пределом для широкополосных радиолокаторов с синтезированной апертурой, использующих информацию о фазе. При этом сопутствующее усложнение цифровой обработки сигнала решается разработанными алгоритмами обработки полученных данных и позволяет осуществлять измерения интенсивности в режиме реального времени. Таким образом, **практическая ценность** работы очевидна.

Представленная работа является законченным научным исследованием, в котором получены новые результаты, имеющие важные приложения в радиофизике.

По диссертации Завьяловой К.В. имеются следующие замечания:

1. Для моностатической схемы зондирования не определено конкретных числовых критериев превышения опорного сигнала над предметным. Также не совсем понятно каким образом в ходе эксперимента возможно осуществить необходимое превышение прямого сигнала от передающей антенны над отраженным от объекта сигналом и при этом обеспечить широкий динамический диапазон.

2. Для восстановления поля в плоскости дифракционной решётки необходима точная информация о частоте стороннего источника. Не разъяснено как будет работать система, если сторонний источник будет широкополосным.

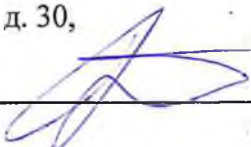
3. При проведении экспериментальных исследований не понятно учитывались ли и как влияние внешних условий.

4. Встречаются опечатки, грамматические и пунктуационные ошибки.

Однако, отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки работы. Считаю, что диссертационная работа «Трёхмерное радиовидение на основе измерения амплитуды поля интерференции», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика полностью соответствует требованиям действующего положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации, и соискатель

Завьялова Ксения Владимировна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03-радиофизика.

Официальный оппонент, Алексей Васильевич Юрченко
Заведующий научно-исследовательской лабораторией физики солнечных элементов, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», кафедра информационно-измерительной техники доктор технических наук,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, д. 30,
тел. (38-22) 60-63-33,
e-mail: niipp@inbox.ru



А.В. Юрченко

Подпись А.В. Юрченко заверяю,
Ученый секретарь НИИ ТПУ



О.А. Ананьева

10.12.2014

