

Утверждаю
Директор ФГБНУ

"Научно-исследовательский
радиофизический институт"

профессор

С.Д.Снегирев

2014г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию С.И. Книжина

“Повышение разрешающей способности волновой диагностики неоднородной плазмы при помощи пространственной обработки поля”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиофизика

Актуальность работы

Неоднородная структура ионосферы является довольно чувствительным индикатором разнообразных естественных и антропогенных возмущений, происходящих в атмосфере Земли и околоземном космическом пространстве. Исследования неоднородной структуры ионосферы представляют большой интерес как для решения фундаментальных проблем в области физики ионосферной плазмы, так и для решения прикладных задач, связанных с проблемами трансionoсферной связи, навигации, пеленгации и радиолокации. Несмотря на успехи, достигнутые в исследованиях ионосферных неоднородностей, определение их параметров остается серьезной актуальной проблемой. В настоящее время еще нет полного понимания физических механизмов образования ионосферных неоднородностей. Вместе с тем, активное освоение космоса предъявляет сегодня повышенные требования к качеству информации о состоянии околоземного космического пространства. Например, наличие в ионосфере неоднородностей различных масштабов приводит к тому, что рефракция радиоволн на крупномасштабных и рассеяние на мелкомасштабных неоднородностях могут вносить значительные ошибки в работу навигационных систем и систем связи. В этой связи большую роль играет развитие методов дистанционного зондирования, позволяющих повысить разрешающую способность измерительных систем.

Диссертационная работа С.И.Книжина посвящена разработке методов повышения разрешающей способности волновой диагностики неоднородной плазмы с использованием пространственной обработки поля, основанной на представлении поля волны в виде двойного взвешенного Фурье преобразования (ДВФП). Это направление исследований лежит в русле актуальных задач диагностики ионосферной и лабораторной плазмы и их решение связано с планами ФЦП «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией РФ на 2008 – 2015г.г.»

Особенность развитого диссертантом метода заключается в возможности диагностировать неоднородности с размерами больше и меньше радиуса Френеля при слабых и сильных вариациях фазы и уровня в отсутствие информации о локализации исследуемой неоднородной среды. Такой вид диагностики может быть реализован в задачах дифракционной радиотомографии ионосферы, где рассеянное поле волны измеряет сеть приемников, находящихся на земной поверхности, а передающая антенная система синтезируется двигающимся низкоорбитальным или высокоорбитальным искусственным спутником Земли. Аналогичную схему диагностики неоднородной плазмы можно реализовать в лабораторных условиях. Однако, когда физические характеристики неоднородной среды изменяются быстро или пространственная обработка поля возможна только по одной из плоскостей, обработка ДВФП становится не применимой. В таких условиях можно использовать однократную пространственную обработку поля, основанную на модификации метода ДВФП для удаленной неоднородности. Этот подход, так же, как и двукратная обработка ДВФП, позволяет диагностировать разномасштабные неоднородности в условиях сильных и слабых вариаций фазы. Главное отличие данной методики от Френелевской инверсии, которую часто используют при решении задач диагностики неоднородной плазмы, заключается в возможности расположить виртуальный экран не только на выходе из неоднородной среды, но и внутри нее. Многолучевость и сопровождающие ее эффекты интерференции и вариации амплитуды сигнала являются одной из важных проблем навигации и связи. В работе исследуется возможность устранения этих эффектов, возникающих при распространении волн в неоднородных средах

Решению всех этих задач, имеющих важное научное и прикладное значение, и посвящена диссертационная работа Книжина С.И.

Содержание работы

Диссертация состоит из Введения, четырех глав и Заключения.

Во введении показана актуальность предмета исследования, дается обзор известных результатов по теме диссертации, излагаются цели и структура работы.

В 1-ой главе диссертационной работы дается анализ различных методов описания поля волны в неоднородных средах. Приведены критерии применимости метода геометрической оптики (ГО), борновского приближения, метода плавных возмущений (МПВ), метода фазового экрана, метода интерференционного интеграла и метода Маслова. Приведен вывод решения волнового уравнения в приближении двойного взвешенного Фурье преобразования (ДВФП), которое имеет более широкую область применения. Этот метод можно использовать в задачах распространения волн в условиях сильных и слабых вариаций фазы и данное приближение учитывает дифракционные эффекты и многолучевость. При определенных условиях результаты решения волнового уравнения методом ДВФП согласуются с результатами приближений Борна, фазового экрана, ГО и МПВ.

2-ая глава посвящена проблеме повышения разрешающей способности волновой диагностики неоднородной плазмы при помощи пространственной обработки поля на основе ДВФП. Рассмотрена возможность выхода за рамки френелевского разрешения при помощи данной обработки в условиях сильных вариаций фазы. На основе двойного взвешенного Фурье преобразования для поля волны, рассеянной в неоднородной среде, с учетом ограниченности областей обработки в передающей и приемной плоскостях получены выражения, описывающие пространственную обработку поля. С помощью пространственной обработки ДВФП можно осуществлять дифракционную томографию без условия о слабых вариациях фазы. Тем самым можно добиться сверхфренелевского разрешения не только для неоднородностей, вызывающих слабые вариации фазы, как в обычной дифракционной томографии, но и сильных, когда появляется многолучевость и сильные вариации амплитуды. Рассмотрена задача рассеяния радиоволны на локальной неоднородности с размерами меньше радиуса Френеля для случая слабых и сильных вариаций фазы. Приведены результаты численного моделирования для фазы рассеянной волны с применением пространственной обработки поля методом ДВФП и без нее. Показана возможность повышения разрешающей способности данного метода диагностики неоднородной ионосферной и лабораторной плазмы. Исследуются возможности пространственной обработки поля ДВФП для случая, когда элементы в приемо-передающей системе распределены дискретно, а радиоволна от источников рассеивается на локальной мелкомасштабной неоднородности, вызывающей слабые и сильные вариации фазы.

3-я глава посвящена исследованию возможности применения пространственной обработки ДВФП для устранения эффектов многолучевости. Данный эффект является одной из важных проблем систем связи, навигации и диагностики неоднородных сред. Так, при решении задач глобального позиционирования многолучевая погрешность является главным источником ошибок для высокоточной навигации. В результате отражения радиоволн от земной поверхности, океана или других объектов на приемную антенну приходит множество сигналов, уровень которых может быть соизмерим с прямым сигналом от навигационного космического аппарата, что приводит к серьезным искажениям полезного сигнала. Многолучевость сигнала существенно затрудняет поиск решения обратной задачи распространения электромагнитных волн в неоднородных средах. В диссертации рассматривается возможность устранения влияния многолучевых эффектов из результатов измерений рассеянного поля при фокусировке сигнала на локальной плазменной неоднородности, а также при рефракции на нескольких локальных неоднородностях. Для случая лабораторной плазмы приведены результаты численного моделирования фазы после применения пространственной обработки ДВФП и без нее для случая многолучевого распространения радиосигнала в плазменной неоднородности с положительным значением вариации диэлектрической проницаемости, а также для двух локальных неоднородностей с отрицательным значением вариации диэлектрической проницаемости. В результате проведенных исследований показано, что влияние многолучевости на результаты измерений рассеянного поля устраняется дополнительной пространственной обработкой поля на базе ДВФП. Это упрощает определение характеристик неоднородных сред в условиях многолучевости. Показано, что применение обработки ДВФП даже в условиях сильных вариаций фазы при рассеянии волны на одной или нескольких неоднородностях позволяет превысить френелевский порог разрешения в условиях многолучевости.

4-я глава посвящена исследованию возможности повышения разрешающей способности диагностики околоземной плазмы посредством использования однократной пространственной обработки поля на основе интегрального представления поля в виде двойного взвешенного Фурье преобразования для удаленной неоднородной среды. Приводятся выражения для поля в виде ДВФП для удаленной неоднородности, а также однократная пространственная обработка поля, полученная на основе данного представления. Приведены результаты численного моделирования фазы после применения обработки поля и без нее в условиях слабых и сильных

вариаций фазы при рассеянии радиосигнала на удаленной мелкомасштабной неоднородности. Результаты численного моделирования показали, что для получения наилучшего разрешения при диагностике неоднородной плазмы виртуальный экран необходимо располагать в области локализации неоднородности. При таком расположении виртуального экрана амплитудные вариации малы и вся информация неоднородности содержится в фазе. Анализ френелевской инверсии с помощью приближения ДВФП для удаленной неоднородности показал, что такая пространственная обработка поля позволяет устранять дифракционные эффекты при диагностике мелкомасштабной плазмы и получать фазовые проекции в условиях сильных и слабых вариаций фазы.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Оценка новизны и достоверности

Основные элементы новизны полученных в диссертации результатов заключаются в разработке оригинальных методов для повышения разрешающей способности волновой диагностики неоднородной плазмы при помощи пространственной обработки поля. При этом в отличие от классических методов, применяемых для диагностики мелкомасштабных и крупномасштабных неоднородностей, обработка поля ДВФП позволяет устранить влияние дифракционных и многолучевых эффектов не только при слабых, но и при сильных вариациях фазы без информации о локализации неоднородности, что существенно расширяет границы применимости такой диагностики. Таким образом:

- впервые в качестве модели поля рассеянной волны предложено использовать приближение ДВФП, а также полученную на его основе пространственную обработку поля, позволяющую выйти за рамки френелевского разрешения при диагностике неоднородной плазмы;
- впервые предложено использовать в качестве метода диагностики околоземной плазмы модификацию ДВФП, с помощью которой повышение разрешения можно осуществлять путем пространственной обработки только по одной из плоскостей.

Достоверность полученных в диссертации результатов и выводов определяется физической обоснованностью используемых автором математических методов,

подтверждается результатами, полученными численным моделированием и согласуется с результатами, полученными известными методами в условиях их применимости.

Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня, утвержденного ВАК, докладывались на Всероссийских и Международных конференциях по физике ионосфере и распространению радиоволн.

Практическая значимость результатов работы

Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке методов пространственной обработки поля, которые могут быть использованы для повышения разрешающей способности методов волновой диагностики ионосферной и лабораторной плазмы.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке перспективных систем диагностики ионосферной и лабораторной плазмы в МГУ, ПГИ КНЦ РАН, ИРЭ РАН, ИСЗФ СО РАН, ФГБНУ НИРФИ, ЮФУ, АНИИ.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации при решении задач распространения и рассеяния волн остается открытым вопрос о влиянии регулярной рефракции, например, в фоновой ионосфере на результаты проведенных исследований, особенно в используемом диапазоне длин волн сигналов низкоорбитальных спутников ($\lambda = 2\text{м}$). В этой связи название 3-ей главы «Устранение влияния многолучевости при распространении сигнала в плавно неоднородной среде» представляется не совсем удачным, поскольку влияние фоновой среды там не рассматривается. Хотя в этой главе приводятся результаты численного моделирования только для лабораторной плазмы, но в преамбуле этой главы речь идет и о многолучевости при дистанционном зондировании ионосферы, где влияние регулярной рефракции может быть существенным.
2. К вопросу о границах применимости метода пространственной обработки поля. В диссертации приводятся результаты численных расчетов, которые демонстрируют эффективность использования данного метода для диагностики одной неоднородности или группы неоднородностей. Но остается открытым вопрос о его применении для диагностики толстого слоя с ансамблем неоднородностей. Например, такая ситуация часто возникает при трансionoсферном зондировании высокоширотной ионосферы с ее развитой

неоднородной структурой, когда неоднородности различных масштабов занимают значительный интервал высот порядка нескольких сот километров.

3. Отсутствие в диссертации предложений для экспериментальной проверки и тестирования разработанных методов пространственной обработки поля снижает впечатление о работе. Но это скорее пожелание для будущих исследований.
4. В тексте встречаются незначительные опечатки: стр.12, 5-ая строка сверху (...интеграла); стр. 51, 4-ая строка сверху (...эффектов...).

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общую высокую оценку результатов диссертационной работы.

Заключение

Диссертационная работа Книжина С.И. представляет собой законченное научное исследование и может быть квалифицирована как новое научное достижение в области статистической радиофизики.

Диссертация хорошо написана и качественно оформлена.

Автореферат диссертации полно и правильно передает содержание и основные результаты работы.

По актуальности решаемых задач, по научной значимости полученных результатов, по уровню выполнения диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Книжин Сергей Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертация и отзыв на нее обсуждались на заседании отдела «Мониторинг верхней атмосферы Земли на основе контролируемых воздействий» ФГБНУ НИРФИ 24.04.2014г.

Зав. сектором ФГБНУ
“Научно-исследовательский
радиофизический институт”
доктор физ.- мат. наук
603950, г. Н.Новгород, ул. Б.Печерская, д.25/12а
8(831)4325710, e-mail: uryadovvp@nirfi.sci-nnov.ru



Урядов Валерий Павлович