

**Отзыв официального оппонента,
доктора физико-математических наук Шипилова Сергея Эдуардовича
на диссертационную работу Мухрановой Дарьи Николаевны
«Пространственно-временные сигналы и их статистическая обработка в
присутствии активных помех в широкополосных системах с антенными
решетками», представленной на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе
системы и устройства телевидения»**

Актуальность темы

Для качественного функционирования радиотехнических систем необходимо учитывать воздействие внешних помех. Применение антенных решеток в радиотехнических системах позволяет расширить функциональные возможности и улучшить их характеристики, в том числе в направлении борьбы с внешними активными помехами. В таких системах основные подходы для оптимизации радиоприема заключаются в отыскании оптимальных весовых коэффициентов элементов антенной решетки с целью получить наилучшие сигнально-помеховые характеристики путем формирования оптимальной диаграммы направленности антенной решетки.

Диссертационная работа Мухрановой Д.Н. посвящена поиску нового подхода к обработке широкополосных сигналов в радиотехнических системах с антенными решетками и основана на представлении сигналов и помех в качестве многомерных пространственно-временных функций, зависящих от времени и пространственных координат. Тема исследования является **актуальной**.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, положения, выносимые на защиту, теоретическая значимость и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе рассмотрено текущее состояние решения задачи приема широкополосных сигналов в радиотехнических системах с цифровыми антенными решетками. Рассмотренные алгоритмы направлены на адаптивную обработку сигналов, которая позволяет изменять вид диаграммы направленности антенной решетки так, чтобы оптимальным образом учесть различия в пространственном расположении источников сигналов и помех. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе исследована математическая модель широкополосных сигналов, формируемых на линейных и плоских антенных решетках, как пространственно-временных сигналов. Раскрыто свойство широкополосности сигнала в пространственном смысле, возникающее при приеме сигнала антенной решеткой. Получены выражения спектров для многомерных сигналов несущей и промежуточной частот, а также спектров их многомерной комплексной огибающей. Показано, что для различных углов прихода сигнала положение активной области спектра различно, что становится основой для разделения сигналов. Данное свойство справедливо для сигналов несущей и промежуточной частоты и для комплексных огибающих. Показана приемлемость приближения дискретной антенной решетки к непрерывной при выводе выражений спектров. Определены корреляционные характеристики пространственно-временных помех, представляемых в виде многомерных процессов в спектральной области, при этом показано, что отсчеты помехи в спектральной области можно считать некоррелированными.

В третьей главе предложен алгоритм обнаружения пространственно-временного сигнала на основе метода максимального правдоподобия, при этом обработка происходит в спектральной области на основе рассмотренных во второй главе свойств пространственно-временных процессов. Данный подход имеет характер корреляционной обработки, выполняемой в спектральной области, без обращения и оценивания прямой корреляционной матрицы помех, чего требуют классические подходы к обработке. Для исследования эффективности предложенного алгоритма обработки разработана моделирующая программа для статистической оценки качества предложенного алгоритма обработки сигналов на фоне активных помех и тепловых шумов.

В заключении перечислены основные результаты работы. Предложены направления дальнейших исследований в рамках рассматриваемой темы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Научная новизна работы

Исследовано математическое описание многомерных пространственно-временных сигналов и помех в радиотехнических системах с цифровыми антенными решетками, при этом проведен спектральный анализ этих процессов, основанный на непрерывной аппроксимации дискретной антенной решетки.

Проведено статистическое исследование корреляционных характеристик спектров пространственно-временных помех, которое показывает некоррелированность отсчетов спектров пространственно-временных помех.

Предложено и исследовано применение алгоритма многомерной обработки сигналов на основе принципа максимального правдоподобия, в котором в качестве входных данных используются многомерные спектры пространственно-временных сигнала и помех.

Теоретическая значимость и практическая ценность работы

Результаты, полученные в диссертационной работе, обладают теоретической значимостью и практической ценностью. Теоретическая значимость работы заключается в том, что автором исследованы многомерные пространственно-временные процессы, формируемые на цифровой антенной решетке, и, с учетом характера данных процессов, созданы алгоритмы их многомерной обработки на фоне активных помех. Практическая ценность работы заключается в том, что, на основе теоретического исследования, разработана моделирующая программа радиолокационной станции обзора.

Апробация результатов работы и их публикация

Результаты диссертационной работы в полной мере отражены в публикациях автора и прошли апробацию на конференциях международного и всероссийского уровня. По теме диссертации автором опубликовано 25 работ, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, 8 публикаций, входящих в международные библиографические системы Scopus и Web of Science, 2 главы в коллективной монографии.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным применением математического аппарата и подтверждением теоретических выводов, положительными результатами апробации и внедрения. Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено двумя актами. Получены 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания

1. В обзоре литературы подробно рассмотрена пространственная обработка сигналов антенной решетки и обоснованы ее недостатки. Однако,

автор не уделит внимание альтернативным подходам, используемым при многомерной обработке, ориентированных на прием широкополосных сигналов, например, вейвлет-анализу, а также представлению сигнала в виде пространственного спектра, в котором частота, угол прихода и пространственная координаты объединяются.

2. В диссертационной работе автор проводит исследование характеристик широкополосного сигнала как пространственно-временного процесса для импульсного сигнала с линейным изменением частоты (например, стр.55), при этом не обоснован выбор и преимущества данного типа модуляции сигнала для целей исследования и его сравнение, например, с видеоимпульсным сигналом.

3. В разделе 3.6.1 приведено описание разработанной моделирующей программы для статистической оценки качества предложенного алгоритма обработки сигналов на фоне активных помех и тепловых шумов. Подробно раскрыт процесс моделирования пространственно-временных процессов несущей и промежуточной частот, а также для комплексных огибающих для линейной и плоской антенных решеток. При этом статистический эксперимент проведен только для комплексных огибающих, а влияние частоты сигнала на эффективность работы разработанного алгоритма полностью не раскрыто.

4. Защищаемое положение № 1 содержит ряд тривиальных высказываний, которые и так очевидны, например, «Математическое описание сигналов и помех в радиотехнических системах с цифровыми антенными решетками как многомерных пространственно-временных процессов является адекватным описанием реальных физических явлений на антенной решетке». Кроме того, использование фразы «...может служить основой для разработки алгоритмов» намекает на некоторую необязательность выполнения этого условия, что снижает значимость самого защищаемого положения.

5. В защищаемом положении № 3 автор использует термины «...обладает простотой реализации» и «...показывает высокую эффективность». Такие обороты допустимо применять при перечислении результатов работы, но при формулировке защищаемых положений они требуют уточнения в виде количественных оценок.

Заключение

В целом, отмеченные замечания не снижают ценности работы. Диссертационная работа Д.Н. Мухрановой на тему «Пространственно-временные сигналы и их статистическая обработка в присутствии активных помех в широкополосных системах с антенными решетками» является завершенным научным исследованием, обладающим актуальностью, научной новизной, практической ценностью и теоретической значимостью.

Считаю, что диссертационная работа Д.Н. Мухрановой соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным ВАК РФ, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры радиофизики
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Национальный
исследовательский Томский
государственный университет»

С.Э. Шипилов
20.11.2022г.

Подпись ()
Ученый с

Н.А. Сазонова

Сведения

634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 36
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
государственный университет»
+7 (382-2) 529-585
<https://www.tsu.ru>; rector@tsu.ru

отзыв поцпции 20.11.2022 А.А. Сазонова Н.А.

с отзывом ознакомлена 20.11.2022. М.П. Мухранова Д.Н.