

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
РФЯЦ-ВНИИЭФ – директор филиала
РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИС
им. Ю.Е. Седакова», доктор
технических наук, профессор



А.Ю. Седаков
«04» 08 2022г.

О Т З Ы В

ведущей организации

на диссертационную работу Шмонина Олега Андреевича
«Разработка методов двумерного углового разрешения источников
излучения в адаптивных антенных системах», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.4 – Радиофизика

Диссертационная работа Шмонина О.А. посвящена синтезу сверхразрешающих методов оценки числа, азимута и угла места источников излучения в адаптивных антенных решётках, а также обоснованию их применимости для виртуальной антенной решётки автомобильного МИМО радара. Данные методы должны обеспечить высокую вероятность разрешения и точность оценки угловых координат близкорасположенных (в пределах ширины луча диаграммы направленности) источников сигналов на фоне собственных шумов приёмников и внешних источников помехи. Алгоритмы оценки параметров сигналов, принятых антенными решётками, в том числе углов прихода волновых фронтов, востребованы и применяются во многих областях науки и техники (радиолокации, радиосвязи, радионавигации, гидроакустике и т.д.). В свою очередь, применение технологии МИМО и концепции виртуальных антенных решёток является одним из перспективных направлений развития радиолокационных систем. Таким образом, тема диссертации является актуальной, что подтверждается большим объемом

публикаций в научно-технической литературе, посвященной рассматриваемым вопросам, а также активной работой ведущих компаний-производителей радаров и оборудования систем связи в области применения антенных решёток и алгоритмов оценки направлений прихода волновых фронтов.

В диссертации синтезированы сверхразрешающие методы оценки числа, азимута и угла места источников излучения с помощью прямоугольной антенной решетки на основе метода минимального многочлена с применением корневого и псевдоспектрального подходов к пеленгации. Одномерный сверхразрешающий метод минимального многочлена был ранее предложен в работах В.Т. Ермолаева и А.Г. Флаксмана для оценки параметров источников излучения с помощью линейной антенной решётки на фоне собственных шумов приёмных устройств. Данный метод показал свою высокую эффективность, особенно в практически важных случаях коррелированных источников излучения и короткой выборки сигнала, чем обосновывается его выбор в качестве базы для синтеза новых двумерных методов.

Особое внимание в диссертации уделяется разработке и обоснованию двумерного корневого метода, который обладает большей точностью, разрешающей способностью, а также меньшей вычислительной сложностью по сравнению с псевдоспектральным. Также, в рамках диссертации исследуется проблема оценки углового положения целей на фоне пространственно-распределённой помехи, и предлагаются варианты обобщения метода минимального многочлена на этот случай. Высокая эффективность разработанных методов подтверждается результатами численного моделирования.

Кроме того, в работе рассматривается вопрос применимости разработанных методов для оценки угловых координат близкорасположенных целей при помощи виртуальной антенной решётки автомобильного MIMO радара. Эффект многолучевого распространения, связанный с отражениями от земной поверхности, вносит искажения в отраженный от цели сигнал, что

в некоторых случаях ведёт к существенным ошибкам. Для решения этого вопроса вводятся формальные критерии применимости концепции виртуальной антенной решётки и теоретически обосновывается их выполнение или невыполнение для возможных конфигураций антенной системы MIMO радара. Утверждается, что методы оценки угловых координат могут быть успешно применены для виртуальной антенной решётки, если удовлетворяются введённые критерии. Справедливость полученных выводов подтверждается результатами численного моделирования и натурного эксперимента.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 141 страницу, включая 38 рисунков, 6 таблиц и список литературы из 106 наименований.

К основным результатам работы следует отнести:

- разработку двумерного корневого метода минимального многочлена;
- обобщение метода минимального многочлена на случай пеленгации источников сигнала на фоне пространственно-распределённой помехи;
- формирование критериев для виртуальной антенной решётки и результаты анализа данных критериев для различных конфигураций реальных антенных систем MIMO радара;
- результаты натурных экспериментов, подтверждающие эффективность метода минимального многочлена при разрешении близкорасположенных целей в автомобильном MIMO радаре при наличии отражений от земной поверхности.

Научная новизны полученных результатов подтверждается опубликованием 14 научных работ, включая 4 статьи в журналах, включенных в библиографические базы данных Web of Science и Scopus, 1 статью, включенную в базу данных RSCI (Russian Science Citation Index). Основные положения работы обсуждены на 9 международных и российских научно-технических конференциях.

Обоснованность и **достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждаются их сравнением с результатами, полученными с помощью математического и численного моделирования, натурного эксперимента, с опубликованными результатами для частных случаев, а также отсутствием противоречий результатов диссертации известным положениям теории статистической радиофизики.

Полученные автором диссертации результаты имеют несомненную **теоретическую и практическую значимость** для совершенствования методов и подходов к оценке количества и угловых координат источников излучения в окружающем пространстве, применяемых в локационных системах, в том числе бортовых системах типа автомобильных радаров систем помощи водителю и беспилотного управления. Расширение применимости ранее предложенных и апробированных методов на двумерную плоскость и предложение новых алгоритмов, обладающих повышенной разрешающей способностью, позволяет рассматривать возможность применения данного математического аппарата при создании бортовых систем летательных аппаратов и иных перспективных систем радиолокации, радиосвязи и гидроакустики различного назначения.

Диссертация написана четким, понятным языком и хорошо оформлена. Вместе с тем в ней имеются некоторые недостатки:

1) При анализе разрешающей способности разработанных методов решающую роль играет отношение сигнал/шум-помеха (ОСШП). В связи с этим, результаты моделирования на рисунках 2.3 и 2.6 было бы физически нагляднее привести в зависимости от величины ОСШП, а не мощности полезных источников излучения.

2) При физической интерпретации результатов анализа выполнения критериев виртуальной антенной решётки для различных конфигураций антенной системы MIMO радара, полученных в разделе 3.2, не хватает иллюстративного материала.

3) При описании условий натурного эксперимента в разделе 3.5 не приведены некоторые характеристики используемого автомобильного радара, в частности параметры зондирующего ЛЧМ сигнала.

4) В работе не приводятся оценки ресурсов аппаратной платформы при реализации на ней разработанных методов.

5) Несмотря на то, что комментарии к рисункам даны в тексте работы, на некоторых из них, например, 1.3, 1.4 и 1.7, отсутствуют подписи к осям. На рисунке 1.11 для подписи горизонтальной оси используется обозначение M , хотя по смыслу поясняющего текста подразумевается N_h .

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Заключение по работе

Диссертационная работа Шмонина Олега Андреевича «Разработка методов двумерного углового разрешения источников излучения в адаптивных антенных системах» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи по созданию и исследованию новых высокоэффективных методов оценки параметров сигналов в адаптивных антенных решётках, в том числе при применении технологии ММО, имеющее значение для развития систем радиолокации, радиосвязи, гидроакустики и др.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Диссертация соответствует научной специальности 1.3.4 – Радиофизика.

Диссертационная работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а ее автор Шмонин Олег Андреевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 - Радиофизика.

Отзыв составлен по результатам обсуждения диссертации Шмонина О.А. на заседании научно-технического совета подразделения по разработке радиотехнических и измерительных систем, протокол от 19 июля 2022 года № 195-9530/3097-ПР.



Кашин Александр Васильевич,
доктор технических наук, профессор, научный
руководитель филиала – заместитель главного
конструктора филиала – начальник научно-
исследовательского отделения филиала Федерального
государственного унитарного предприятия «Российский
федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-
исследовательский институт экспериментальной физики»
«Научно-исследовательский институт измерительных
систем им. Ю.Е. Седакова», 603951, Россия,
г. Н.Новгород,
Бокс № 486, тел. (831) 466-16-40,
e-mail: aKashin@niiis.nnov.ru



Артемьев Владимир Владимирович
кандидат технических наук, начальник научно-
исследовательской группы разработки блоков НЧ и ЦОС
филиала Федерального государственного унитарного
предприятия «Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики» «Научно-исследовательский
институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова»,
603951, Россия, г. Н.Новгород, Бокс № 486,
тел. (831) 465-49-90, e-mail: aKashin@niiis.nnov.ru



Ивойлова Мария Михайловна
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
филиала Федерального государственного унитарного
предприятия «Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики» «Научно-исследовательский
институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова»,
603951, Россия, г. Нижний Новгород, Бокс № 486,
тел. (831) 469-51-44, e-mail: aKashin@niiis.nnov.ru

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский
федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики», Государственная корпорация по атомной
энергии «Росатом», 607188, Нижегородская обл., г. Саров, проспект Мира, д.37