

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной и
инновационной деятельности
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Омский государственный технический
университет»,
старший научный сотрудник,
доктор химических наук



Фефелов Василий
Федорович

« 09 » 01 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Тюнина Николая Николаевича «Анализ и решение задач оптимизации направленности фазированных антенных решеток коротковолнового диапазона», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы диссертации

В настоящее время разработка и анализ эффективных систем радиосвязи имеет большое значение для народного хозяйства. Одной из актуальных задач в этой области является задача оптимизации направленности фазированных антенных решеток (ФАР). Исследование возможностей оптимизации направленного излучения ФАР ВЧ диапазона при ограничениях на мощность по каждому входу является **актуальной научно-технической задачей**, решение которой позволит достичь увеличения дальности радиосвязи или уменьшения затрат ресурсов.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи исследования, излагается научная новизна и практическая значимость представляемой работы, приводится структура и содержание.

Первая глава посвящена обзору литературы и постановке задачи в виде задачи математического программирования. Здесь рассматриваются литературные источники по теме диссертации, приводится анализ аналогичных исследований. Также в рамках этого раздела производится сравнение результатов работы методов решения поставленной задачи.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию структуры множества локальных оптимумов и анализу непрерывных групп линейных симметрий задачи. Здесь описана процедура нахождения непрерывных групп симметрий и результаты ее применения к тестовым примерам. Для всех рассмотренных задач было установлено, что непрерывная подгруппа симметрий рассматриваемой задачи одномерна и ее элементы соответствуют сдвигу фаз во всех излучателях на равную величину, что позволяет снизить размерность задачи на одну переменную и сократить время счета. Учет данной симметрии может быть реализован, например, фиксацией в ноль одной из переменных задачи.

Здесь также проводится экспериментальное сравнение градиентного метода и коммерческого решателя BARON, основанного на локальной оптимизации и методе ветвей и границ. В результате проведенных экспериментов было выявлено, что в большинстве случаев фиксация одной переменной привела к ускорению работы решателя BARON.

В третьей главе производится исследование возможности решения поставленной задачи методами дифференциальной эволюции (ДЭ). Алгоритмы дифференциальной эволюции хорошо зарекомендовали себя на различных задачах непрерывной оптимизации. В рамках диссертационной работы разработан гибридный алгоритм, являющийся модификацией алгоритма дифференциальной эволюции, в котором к особи с лучшим значением целевой функции применяется градиентный алгоритм, когда исчерпано время счета, отведенное на алгоритм дифференциальной эволюции. Кроме того, в гибридном алгоритме применяется процедура адаптации штрафа, в которой учитывается возврат в допустимую область посредством масштабирования решения. Как показал вычислительный эксперимент, предложенная процедура адаптации штрафа приводит к сокращению погрешности получаемых решений.

Четвертая глава посвящена исследованию возможности оптимизации возбуждения ФАР в различных условиях. Вычислительный эксперимент показал, что имеется интервал параметров кольцевых ФАР, в котором учет взаимного влияния излучателей ведет к существенному увеличению коэффициента усиления в заданном направлении. При этом коэффициент усиления, соответствующий решению задачи оптимизации направленности ФАР, может до 5 дБ превышать коэффициент усиления, получаемый стандартным методом фазирования без учета взаимного влияния.

В заключении диссертации приведены основные результаты и выводы.

Научная новизна полученных результатов

Предложенный гибридный алгоритм дифференциальной эволюции отличается от известных ранее наличием процедуры адаптации штрафа, в которой учитывается возврат в допустимую область посредством масштабирования решения, что приводит к сокращению погрешности получаемых решений. Ранее, при решении задач оптимизации направленности ФАР, как правило, не использовалась инвариантность основных свойств решений относительно равного

сдвига фаз во всех излучателях. Однако, как показано в настоящей работе, учет такой инвариантности позволяет снизить размерность задачи и сократить среднее время счета решателя, основанного на методе ветвей и границ и локальном спуске. Впервые для задачи оптимизации направленности ФАР показано наличие кластеров из локальных оптимумов с одинаковым значением целевой функции и не эквивалентных относительно равного сдвига фаз во всех излучателях. Впервые обоснована целесообразность учета взаимного влияния излучателей при оптимизации направленности ФАР КВ диапазона.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов диссертации

Выдвигаемые научные положения подтверждаются точной формулировкой задач и критериев, достаточным количеством численных экспериментов и исследованиями адекватности модели с точки зрения физических принципов. Методика проведения численных экспериментов подробно описана, что позволяет воспроизвести полученные результаты.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию и получили положительные отзывы на российских и международных научных конференциях, а также при их обсуждении на научных семинарах.

Значимость для науки и практики

Разработанные алгоритмы оптимизации возбуждения ФАР могут применяться в системах связи коротковолнового диапазона для увеличения дальности радиосвязи. Созданное программное обеспечение позволяет производить необходимые для этого расчеты. Полученное обоснование необходимости учета взаимного влияния излучателей при оптимизации направленности ФАР, а также результаты вычислительных экспериментов для различных вариантов ФАР могут быть полезны при проектировании новых антенных систем.

Осуществленный в работе переход от задачи оптимизации направленности ФАР в комплексных числах к задаче математического программирования позволил переформулировать в терминах математического программирования известные физические свойства задачи, в частности, инвариантность относительно сдвига фаз и закон сохранения энергии. Предложенная процедура возрата в допустимую область с помощью масштабирования вектора решения, а также построенная верхняя оценка евклидовой нормы допустимых решений могут быть использованы при разработке новых методов решения задач, аналогичных рассмотренной в работе.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Полученные в диссертации результаты могут использоваться в научных исследованиях при решении сложных задач оптимизации направленности ФАР ВЧ диапазона. Алгоритмы, разработанные в рамках диссертации, могут быть использованы в учебном процессе подготовки студентов при выполнении лабораторных и курсовых работ, а также в рамках некоторых программ повышения квалификации.

Замечания по работе

1. В работе автор относит рассматриваемую задачу к классу задач невыпуклого квадратичного программирования, при том что более правильно ее называть задачей нелинейного программирования с невыпуклыми квадратичными ограничениями.
2. Имеет смысл провести больше экспериментов при заданном направлении максимизации излучения, близком к горизонту. Выбор автором полярного угла 70 градусов не очевиден.
3. Имеет смысл провести исследование причин преимущества градиентного метода по времени счета в сравнении с решателем BARON на задачах малой размерности.
4. Для возможности точного воспроизведения результатов экспериментов имеет смысл приводить конкретные значения настраиваемых параметров алгоритма дифференциальной эволюции, а также описать результаты исследования влияния этих параметров на результат оптимизации.
5. Представляется, что на задачах большой размерности снижение размерности на одну переменную не будет критично сказываться на результате оптимизации.
6. Автор заявляет об увеличении дальности, при этом ссылаясь на результаты, приведенные в дБ. Следует оценить полученные результаты именно в терминах расстояния.

Указанные замечания не влияют на положительную оценку работы.

Оценка диссертационной работы в целом

В целом диссертация Н.Н. Тюнина выполнена на достаточном научном уровне и представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, которая имеет важное научное и практическое значение в области разработки и применения эволюционных алгоритмов в задачах оптимизации и моделирования.

Основные результаты работы опубликованы в открытой печати, в том числе, в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, докладывались на общероссийских и международных конференциях, обсуждались на научных семинарах.

В автореферате представлены в достаточном объеме основные этапы работы, полученные результаты и сформулированные выводы. Автореферат и 9 публикаций автора (в том числе - 4 из списка ВАК) отражают основное содержание диссертации.

Оформление диссертации и автореферата удовлетворяет требованиям соответствующих нормативно-методических документов.

По своему содержанию диссертация соответствует профилю диссертационного совета 24.2.403.01. Диссертация полностью удовлетворяет требованиям ВАК (п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, ред. от

11.09.2021), предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам, а её автор Тюнин Николай Николаевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Отзыв ведущей организации на диссертацию обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры прикладной математики и фундаментальной информатики ОмГТУ 10 декабря 2022 г., протокол № 5 (председатель – д.ф.-м.н., проф. А.В. Зыкина).

Заведующий кафедрой
прикладной математики и
фундаментальной информатики,
д.ф.-м.н., профессор

А.В. Зыкина