

Отзыв

официального оппонента, доктора физико-математических наук
Шипилова Сергея Эдуардовича на диссертационную работу
Подкопаева Артемия Олеговича «Синтез малоточечных частично когерентных моделей
радиолокационных объектов на основе эквивалентных им некогерентных моделей»
по специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Актуальность исследования

В процессе разработки современных радиолокационных станций большую значимость имеет этап полунатурного моделирования. На этапе полунатурного моделирования радиолокационная станция размещается в лаборатории, а радиоэлектронная обстановка, максимально приближенная к реальной, создается при помощи имитаторов радиосигналов.

В настоящее время большое распространение получили малоточечные геометрические модели и матричные имитаторы на их основе. Малоточечные модели различаются по корреляции между излучаемыми сигналами. Для замещения распределенных объектов радиолокации применяются, как правило, некогерентные и частично когерентные модели. Точки некогерентной модели излучают некоррелированные сигналы. Точки частично когерентной модели излучают сигналы с модулем коэффициента взаимной корреляции, имеющим значения от 0 до 1. Частично когерентные модели имеют наибольшие возможности по моделированию распределенных объектов радиолокации. На данный момент существует большое количество синтезированных некогерентных моделей распределенных объектов радиолокации, но практически не существует синтезированных частично когерентных моделей.

Диссертационная работа Подкопаева А.О. посвящена обоснованию возможности синтеза частично когерентных моделей распределенных объектов радиолокации на основе синтезированных некогерентных моделей и разработке соответствующего алгоритма синтеза.

Тема диссертационного исследования является актуальной. Результаты исследования развивают теорию синтеза матричных имитаторов и расширяют возможности современных систем полунатурного моделирования распределенных объектов радиолокации.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и одного приложения.

Во **введении** сформулирована цель работы, приведены ее практическая и теоретическая ценность, научная новизна и актуальность.

В **первом разделе** сформулированы основные задачи работы и намечены пути их решения. Показано, что при замещении распределенных объектов радиолокации

необходимо учитывать его угловые шумы. Отмечено, что наибольшие возможности по моделированию распределенных радиолокационных объектов предоставляют частично когерентные малоточечные модели и матричные имитаторы на их основе. Показано, что для двуточечной частично когерентной модели можно подобрать эквивалентную ей трехточечную неэквидистантную модель, обеспечивающую заданные параметры плотности распределения вероятностей угловых шумов. Предложено использовать свойство эквивалентности для описания способа синтеза частично когерентных геометрических моделей на основе некогерентных.

Второй раздел посвящен вопросам синтеза частично когерентных моделей на основе эквивалентных им некогерентных, обеспечивающих заданные параметры плотности распределения вероятностей угловых шумов. Определены границы эквивалентности некогерентных и частично когерентных моделей. Показана эквивалентность двумерной четырехточечной частично когерентной модели и двумерной пяти- или девятиточечной некогерентной. Получены аналитические соотношения, позволяющие синтезировать четырехточечную частично когерентную модель, обеспечивающую требуемые параметры ПРВ угловых шумов, на основе известной пяти- или девятиточечной некогерентной модели.

Третий раздел посвящен вопросам синтеза частично когерентных моделей на основе эквивалентных им некогерентных, обеспечивающих требуемые спектрально-корреляционные характеристики угловых шумов. Получены математические выражения, позволяющие на основе известных корреляционных функций квадратурных компонент сигналов, подводимых к точкам некогерентной модели, определить соответствующие корреляционные функции для сигналов, подводимых к точкам частично когерентной модели. Математические выражения получены для одномерных и двумерных моделей.

В четвертом разделе в качестве примера практического применения полученных теоретических результатов рассмотрен синтез четырехточечной частично когерентной модели метеообразования. Разработан алгоритм синтеза частично когерентной модели метеообразования. Приведен ряд требований и рекомендаций к синтезу многоточечной и малоточечной модели замещаемого метеообразования, учитывающий его свойства и рассматриваемый при моделировании сценарий работы радиолокационной станции. Приведено краткое описание программного модуля, разработанного на основе полученных результатов и вошедшего в состав программного обеспечения имитатора радиолокационных сигналов.

В заключении приведены основные результаты работы.

В приложении приведен акт о внедрении результатов диссертационного исследования на предприятии АО «ЗАСЛОН».

Теоретическая ценность

Автором доказана эквивалентность семейств некогерентных и частично когерентных моделей распределенных объектов радиолокации в их одномерном и двумерном исполнении. Получены математические соотношения, позволяющие

синтезировать частично когерентные модели на основе эквивалентных им некогерентных с требуемыми спектрально-корреляционными характеристиками и плотностью распределения вероятностей угловых шумов.

Практическая ценность

Полученные в диссертационном исследовании результаты могут быть применены в имитаторах радиосигналов с целью полунатурного моделирования пространственно распределенных объектов радиолокации. Переход от некогерентных моделей к частично когерентным позволяет сократить необходимое количество излучающих антенн имитатора с трех до двух – для одномерных моделей, с девяти или пяти до четырех – для двумерных моделей. Разработанный алгоритм замещения метеообразования частично когерентной моделью может быть применен для полунатурного моделирования метеообразований.

Апробация

Результаты диссертационного исследования автора прошли апробацию на конференциях всероссийского и международного уровня. По материалам диссертации опубликовано 15 работ, среди них: 5 статей – в журналах, рекомендованных ВАК и 4 работы – в изданиях, включенных в международные базы цитирования Web of Science или Scopus.

Достоверность полученных результатов обеспечивается строгостью применяемого математического аппарата, подтверждением теоретических выводов и результатов методами математического и имитационного программного моделирования на ЭВМ, а также положительными результатами апробации и внедрения на предприятии АО «ЗАСЛОН».

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ.

Автореферат диссертации отражает содержание работы, позволяет оценить ее результаты, научную новизну и практическую значимость.

К работе имеется ряд замечаний.

1. На странице 28 автор отмечает, что неточность установки разности фаз не должна превышать величину $\pi/30$, ссылаясь на график 1.3.1. Однако последовательность логических переходов, приведшая к такому выводу, либо не приведена в работе, либо не очевидна.

2. В главе 3 и далее автор для сравнения моделей АКФ пеленга использует статистический критерий Пирсона, при этом не обосновав выбор такого критерия среди ряда других.

3. На странице 104 в формуле нормального закона распределения 4.2.1 присутствует ошибка.

4. В главе 4 в подписях к рисункам не конкретизированы размерности некогерентной и частично когерентной моделей.

5. В Заключении автор, описывая полученные результаты, больше внимания уделил теоретическим результатам и, слишком мало уделил практическим результатам. Кроме того, в Заключении не отражена связь работы с внедрением ее результатов на предприятии АО «ЗАСЛОН», акт которого приведен в Приложении 1.


Заключение

Считаю, что указанные недостатки не снижают значимость диссертационной работы Подкопаева А.О. на тему «Синтез малоточечных частично когерентных моделей радиолокационных объектов на основе эквивалентных им некогерентных моделей». Представленную диссертационную работу считаю законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научно-технической задачи в области полунатурного моделирования объектов радиолокации для разработки и испытания радиолокационных систем.

Считаю, что диссертационная работа Подкопаева А.О. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным ВАК РФ, а ее автор – требованиям для присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.16 – «Радиолокация и радионавигация».

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

С.Э. Шипилов



10 февраля 2022 г.

Личную подпись Шипилова С.Э. заверяю



УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

УЧЁНОГО СОВЕТА ТГУ

Сведения об организации:

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

8 (3822) 529 604, 8 (3822) 529 852

<http://www.tsu.ru>

iro2@mail.tsu.ru

s.shipilov@gmail.com