

Отзыв

официального оппонента д.т.н., профессора Доросинского Леонида Григорьевича на диссертационную работу Степанова Максима Андреевича «Матричные имитаторы угловых шумов радиолокационных объектов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация

Актуальность исследования

В настоящее время при проектировании РЛС широкое распространение получило полунатурное моделирование. Основой для проведения полунатурного моделирования являются аппаратно-программные комплексы – имитаторы радиолокационных эхосигналов и помех. Одной из проблем, стоящих при разработке имитаторов, является формирование отражений от распределенных радиолокационных объектов. Такие объекты состоят из множества отражающих точек, расчет эхосигналов от которых в реальном времени затруднен. Кроме того, распределенным объектам присуще явление углового шума, вопросы имитации которого в настоящее время проработаны недостаточно.

Диссертация Степанова М.А. посвящена обоснованию способов имитации электромагнитных волн, отраженных от распределенных радиолокационных объектов на основе матричных имитаторов. Основа матричного имитатора – геометрическая модель, состоящая из небольшого числа точечных отражателей. Разработанный математический аппарат позволяет синтезировать модель, к точкам которой подводятся коррелированные сигналы, в совокупности адекватно формирующие отражения от распределенных радиолокационных объектов, включая их угловые шумы.

В связи с этим тема исследования является актуальной.

Структура и содержание работы

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

Во введении обозначена актуальность работы, научная новизна, практическая значимость.

Первый раздел содержит обзор свойств электромагнитных волн, рассеянных распределенными радиолокационными объектами, а также основных способов их моделирования. Сформулирована цель и задачи исследования.

Во втором разделе в математической форме записаны критерии адекватного моделирования электромагнитных волн, отраженных от распределенных радиолокационных объектов.

Третий раздел посвящён рассмотрению вопросов синтеза геометрической модели произвольной конфигурации, замещающей распределенный радиолокационный объект с учетом его угловых шумов. Рассмотрены модели, к точкам которых подводятся сигналы с одинаковыми собственными корреляционными свойствами. Определены ограничения, накладываемые такими моделями на замещаемые объекты. В качестве способа снятия этих ограничений рассмотрены модели, к точкам которых подводятся сигналы с различными собственными корреляционными свойствами. Записаны соотношения, позволяющие проводить синтез таких моделей при излучении ими коррелированных и некоррелированных сигналов.

Доказана эквивалентность реальных и виртуальных излучающих точек моделей. Эта эквивалентность позволяет заменить подвижные излучатели матричных имитаторов кажущимися центрами излучения, положение которых устанавливается и управляется электронным способом.

Четвертый раздел посвящен обоснованию геометрических структур двумерных моделей, обеспечивающих раздельное управление параметрами плотностей распределения вероятностей (ПРВ) угловых шумов для двух взаимно ортогональных угловых направлений и в пределах каждого из направлений. Показано, что при излучении моделью некоррелированных сигналов, минимальное число точек равно девяти.

В пятом разделе решается аналогичная задача, но применительно к моделям, точки которых излучают коррелированные сигналы – частично когерентные модели. Получены соотношения для синтеза двухточечной частично когерентной модели, определены ее возможности. Двухточечная модель доведена до уровня двумерной – четырехточечной.

В шестом разделе рассмотрены вопросы синтеза матричных имитаторов на основе геометрических моделей. Показано, что переход к аппаратно-программному комплексу (матричному имитатору) неминуемо влечет за собой снижение точности моделирования. Это вызвано ошибками при задании параметров в точке наблюдения – фазовом центре антенны РЛС. Предложены способы оценки ошибок задания параметров и их компенсации. Предложена обобщенная структура матричного имитатора.

Седьмой раздел посвящен вопросам практического применения результатов, полученных в теоретической части работы. Сформулирован алгоритм синтеза малоточечной геометрической модели произвольного радиолокационного объекта. Он апробирован на примере двух типовых радиолокационных объектов. Приведено описание матричных имитаторов, разработанных с использованием теоретических результатов, полученных в диссертационной работе.

В заключении перечислены основные теоретические и практические результаты, полученные в работе.

Новизна работы

Автором получены соотношения, позволяющие синтезировать адекватную геометрическую модель произвольной конфигурации. Предложены структуры двумерных геометрических моделей, к точкам которых подводятся коррелированные сигналы, обеспечивающих формирование угловых шумов с заданной корреляционной функцией и плотностью распределения вероятности. Оценены ошибки моделирования, возникающие при переходе от математической модели к ее аппаратной

реализации – матричному имитатору. Предложены способы снижения этих ошибок.

Достоверность результатов

Подтверждается результатами моделирования, внедрения на предприятия, корректным применением математического аппарата.

По теме диссертации опубликовано 44 печатные работы. Из них 21 в изданиях, включенных в перечень рекомендуемых ВАК РФ. Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено двумя актами.

Оформление диссертации соответствует требованиям ВАК РФ.

Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание работы, позволяет оценить основные результаты работы, их новизну и практическую значимость.

Замечания по работе

1. В соответствие с поставленной в работе задачей автор должен построить такую модель, которая генерирует процесс, адекватный реальному. Речь идёт, в первую очередь, об угловом шуме. В связи с этим возникают следующие вопросы:
 - 1.1. Угловой шум зависит должен зависеть от угла (в работе используется термин обобщенная координата) ξ , а всюду процессы временные (зависимость от τ).
 - 1.2. ПРВ углового шума очевидно негауссова (формула (1.3)), а всё дальнейшее обсуждение не выходит за рамки двух первых моментов.
2. Мне представляется, что автор путает понятие синтеза (имеется в виду классический статистический синтез - то есть отыскание оптимального алгоритма, удовлетворяющего заданному критерию) с вычислительной процедурой решения некоторой системы уравнений, в которой по заданным параметрам объекта и формулам связи между моделью и объектом находятся параметры модели.
3. В разделе 3 указывается, что замещение объектов, не допускающих разделение пространственной и временной переменных, с помощью

модели, все точки которой излучают сигналы с одинаковыми собственными корреляционными функциями, приводит к окрасу доплеровского спектра. Однако примеров окрашенных спектров не приводится. Не ясна суть и самого понятия «разделимость пространственной и временной переменных».

4. В работе приведен перечень из восьми типов радиолокационных объектов, замещаемых с использованием разработанных матричных имитаторов. Однако примеры синтеза геометрической модели произвольной конфигурации приведены лишь для двух из них: фрагмент подстилающей поверхности и самолет.
5. В формуле (1.1) функция $S(\dots)$ не нормированная, а в (1.2) при том же обозначении нормирована – $F(\dots)$ вынесена

Заключение

Отмеченные недостатки не снижают значимость диссертационной работы Степанова М.А. на тему «Матричные имитаторы угловых шумов радиолокационных объектов». Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научно-технической проблемы в области имитационного моделирования, разработки и испытания радиолокационных систем.

Считаю, что диссертационная работа Степанова М.А. удовлетворяет требованиям, предъявляемых ВАК РФ к диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация. Степанов М.А. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

Профессор Уральского федерального университета, д.т.н.

Л.Г. Доросинский

Личную подпись оппонента – д.т.н., Л.Г. Доросинского заверяю.

**УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В. А.**

