

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Булыгина Максима Леонидовича на тему «Многолучевые режимы съемки в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация» (технические науки).

Актуальность темы диссертационной работы

Космические системы радиолокационного синтезирования апертуры (РСА) широко распространены во всем мире как универсальные средства для решения широкого круга задач в области дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Данные системы позволяют получать радиолокационные изображения (РЛИ) земной поверхности в любое время суток вне зависимости от метеоусловий и осуществлять радиомониторинг Земной поверхности в глобальных масштабах.

Ряд решаемых системами РСА задач, такие как картографирование рельефа местности, высокодетальная съемка для задач разведки, периодический мониторинг наземных инженерных сооружений, требует получения РЛИ высокого разрешения. Соответственно одно из направлений развития систем РСА является совершенствование теоретических основ проектирования данных систем, направленных на повышение характеристик картографирования.

Одним из подходов к повышению характеристик съёмки является введение в РСА многолучевых режимов съемки, рассматриваемых в диссертации Булыгина М.Л. Поэтому выбранная тема диссертационной работы соискателя несомненно является актуальной.

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа содержит 154 страницы, состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения.

Первая глава содержит обзор современных отечественных и зарубежных систем РСА X-диапазона, а также общемировой обзор радиолокационных средств ДЗЗ космического базирования. Вводятся основные понятия теории систем РСА и описываются базовые режимы съемки земной поверхности.

Дан анализ принципов возникновения неоднозначности измерения задержки и доплеровского смещения частоты эхо-сигналов а так же излагаются основные известные на сегодняшний день способы обойти влияние данного эффекта при реализации широкозахватной съемки высокого

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № _____
"11" 10 2018

разрешения на качество радиолокационного визирования. Среди данных подходов автором выделяется метод многоканальной обработки сигналов, предполагающий цифровое формирование многолучевой ДН на прием, реализуемое в РСА построенных на базе активных фазированных антенных решеток (АФАР). Анализируются основные проблемы данных подходов и вырабатываются пути их решения.

По результатам главы формируется цель исследования – повышение характеристик радиолокационной съемки и эффективности применения космических систем РСА с цифровой АФАР, а также ставятся частные задачи диссертационного исследования.

Во второй главе разрабатывается методика многолучевого визирования земной поверхности с горизонтальной ориентацией многолучевой ДН. Решается задача разделения зондирующих импульсов по частоте и азимутальному направлению путем разработки соответствующего алгоритма зондирования. Описываются принципы одновременной регистрации эхо-сигналов, достигающих апертуры РСА с различных азимутальных направлений и разрабатываются алгоритмы цифрового формирования многолучевой ДН на прием и параллельной обработки эхо-сигналов.

На основе анализа конфигурации многолучевой ДН автором отмечается необходимость проведения оценки степени влияния лучей друг на друга, что приводит к формированию алгоритма оценки уровня межканальной неоднозначности, а также разработке схемы обработки эхо-сигналов, уменьшающей данный уровень неоднозначности за счет введения низкочастотной фильтрации в приемном тракте и использовании специального алгоритма выбора рабочего периода повторений зондирующего сигнала.

Особое внимание уделено анализу так называемого эффекта частотной дисперсии АФАР, который в рассматриваемом примере системы РСА приводит к ухудшению характеристик радиолокационного визирования степень которых определяется представленными в диссертации алгоритмами.

В третьей главе диссертации представлены разработанные режимы многолучевой съемки земной поверхности.

Комбинация принципов многолучевого визирования и получившего широкое распространение в системах РСА техники сканирования приводит к решению задачи улучшения характеристик визирования в широкозахватных режимах съемки за счет формирования многолучевой сканирующей съемки. Представленные алгоритмы съемки демонстрируют возможность улучшения разрешения при сохранении заданной полосы съемки, отсчитываемой в направлении горизонтальной дальности.

Описанные алгоритмы, реализующие режим многолучевой прожекторной съемки, который позволяют существенно расширять путь протяженности формируемого кадра при сохранении разрешения традиционного прожекторного режима съемки.

Автор отмечает возможность достижения компромисса между достигаемым расширением визируемого участка местности как вдоль так и поперек траектории движения РСА и достижимого разрешения за счет формирования режима расширенной многолучевой прожекторной съемки.

Представленные режимы сопровождаются оценками степени влияния эффекта частотной дисперсии АФАР, с учетом результатов, полученных в главе 2, и решением задачи устранения данного влияния на качество радиолокационного визирования путем разработки специальных алгоритмов зондирования и приема эхо-сигналов.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, состоят в следующем:

1. Проведена разработка методики многолучевого визирования, позволяющая увеличивать суммарное время синтеза апертуры в космических РСА с цифровой АФАР при сохранении коэффициента усиления излучающей системы.

2. Обоснован алгоритм расчета частотного портрета многолучевого визирования, который обеспечивает максимизацию разрешения по направлению горизонтальной дальности при заданных ограничениях на суммарный уровень неоднозначности.

3. Разработан алгоритм оценки уровня межканальной неоднозначности, в сочетании с алгоритмом выбора периода повторений и алгоритмом расчета частотного портрета многолучевого визирования, позволяющий минимизировать результирующий уровень неоднозначности при многолучевом визировании.

4. Получены алгоритмы оценки и компенсации влияния эффекта частотной дисперсии АФАР на качество многолучевого радиолокационного визирования с частотным разделением каналов обработки.

5. Представленные алгоритмы расчета параметров качества радиолокационного визирования позволяют оценивать достижимые характеристики съемки в многолучевом сканирующем и многолучевом прожекторном режимах.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Разработанная методика многолучевого визирования обеспечивает повышение эффективности применения многолучевых систем

РСА космического базирования за счет сохранения коэффициента усиления излучающей системы и соблюдения приемлемого уровня эффекта неоднозначности.

2. Предложенные алгоритмы съемки, реализующие режимы многолучевого сканирующего и прожекторного визирования, обеспечивают улучшение характеристик радиолокационного визирования, а также алгоритмы оценки параметров качества в данных режимах съемки могут быть использованы при разработке перспективных космических систем РСА.

3. Представленные алгоритмы оценки влияния частотной дисперсии АФАР на геометрию радиолокационного визирования позволяют ослаблять вносимые данные данным эффектом искажения в разрабатываемых многолучевых системах РСА, использующих частотное разделение антенных лучей.

Практическая значимость подтверждается внедрением полученных результаты диссертационной работы в АО «НИИ ТП» в рамках проведения опытно-конструкторских работ по темам «Касатка», «Касатка-Макет», «Касатка-Р», «АФАР», посвященных созданию радиолокационного комплекса дистанционного зондирования Земли для космического комплекса «Обзор-Р».

Достоверность и обоснованность полученных результатов обусловлены корректностью постановки задачи исследования, применением адекватного математического аппарата с получением обширных расчетных данных и их совпадением с результатами имитационного моделирования.

Основные результаты диссертационной работы получили апробацию на 13 конференциях в период с 2014 по 2018 гг, в том числе на 11 и 12 европейской конференции по радиолокаторам с синтезированной апертурой EUSAR (2016, 2018), являющейся одной из крупнейших профильных конференций по тематике РСА.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 19 научных трудах: 5 – в виде научных статей в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий ВАК, 14 – тезисы докладов в сборниках научно-технических конференций. Материалы данных работ в полной мере отражают основные результаты диссертационной работы.

По тексту диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1. Представленный в главе 1 обзор существующих систем РСА представляется излишне подробным. Принимая во внимание тему диссертации целесообразно было сделать упор на более подробный обзор режимов съемки.

2. В представленных соотношениях 2.15-2.16 по оценке уровня неоднозначности не обосновано выбранное ограничение по области интегрирования $n = \pm 1$ – в области первых локальных максимумов функции импульсного отклика РСА.

3. В диссертационной работе представленными алгоритмами визирования не решается задача покадрового формирования РЛИ земной поверхности с «перекрытием», необходимым для сшивки парциальных кадров в единое РЛИ земной поверхности.

Приведенные замечания не меняют положительного мнения о работе соискателя.

Заключение

Диссертационная работа Булыгина М.Л. является самостоятельно выполненным законченным научным трудом, в котором изложены научно-технические решения, обеспечивавшие улучшение характеристик систем РСА космического базирования за счет ведения многолучевой съемки Земной поверхности, имеющие существенное значение для развития отечественных радиолокационных систем ДЗЗ.

Диссертация выполнена в соответствии с требованиями и критериями ВАК РФ, предъявляемыми к кандидатским диссертациям, тематика проведенного исследования соответствует паспорту специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация», а автор работы Булыгин М.Л. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация».

Главный научный сотрудник
научно-исследовательского управления
НИИЦ (г. Курск) ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ
доктор технических наук, профессор

Николаев В.Н.

Почтовый адрес: 305004, г. Курск, ул. Блинова, 23.

Тел.: 8 (4712) 54-22-29

E-mail: nikovic54@yandex.ru

Верно
Начальник отдела кадров

С. Сапронов
« 3 » 10 20 18 г.

