

ПОМЕХОЗАЩИТА РАДИОЛОКАТОРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ АФАР

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-2-4-10

Григорян Аарат Константинович,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия,
araratu@mail.ru

Manuscript received 21 September 2020;
Revised 12 October 2020;
Accepted 24 November 2020

Юдин Василий Николаевич,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия,
vn_yudin@mail.ru

Ключевые слова: помеха, шифроколосная помеха, излучение, помехозащита, радиолокатор, синтезированная апертура

Рассматриваются общие вопросы об определении параметров, расчет которых необходим для выбора способа организации помехозащиты РЛС радиолокатора с синтезированной апертурой (PCA), проанализированы и отмечены особенности построения и функционирования PCA. Рассмотрены особенности помехозащиты на радиолокаторах различных фирм: COSMO-SkyMed-4 (Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation) X-диапазона (производства Италии), TerraSAR-X/TanDEM-X (Германия), "Касатка-Р" (Россия). Произведен анализ используемых методов помехоустойчивости у PCA. Предметом исследования является радиолокатор с синтезированной апертурой, представляющий когерентную радиолокационную систему, использующую траекторию полета платформы для имитации чрезвычайно больших препятствий или объектов в электронном виде, и который генерирует высокого разрешение дистанционного зондирования образов. Со временем отдельные циклы передачи / приема завершаются, и данные каждого цикла сохраняются в электронном виде. При обработке сигналов используются амплитуда и фаза принятых сигналов по последовательным импульсам от элементов синтетической апертуры. После заданного количества циклов сохраненные данные повторно объединяются (с учетом Эффекта Доплера, присущего разным передатчикам для целевой геометрии в каждом последующем цикле) для создания изображения с высоким разрешением местности, над которой выполняется полет. Произведен анализ параметров PCA, оказывающих влияние на помехоустойчивость радара. Цель исследования: анализ помехозащиты радиолокатора с синтезированной апертурой космического базирования на основе цифровой АФАР. Следует выделить тип помех, оказывающих эффективное мешающее воздействие на защищаемый объект и определить их степень воздействия в зависимости от параметров источника помех. Под помехоустойчивостью понимают способность радиосистемы противостоять воздействию помех. У радиолокаторов различных производителей существуют дифференциальные методы повышения помехоустойчивости. Дан расчет дальности РЛС с целью подробного рассмотрения параметров максимальной дальности радиопротиводействия. В работе сделан акцент на основные помехи PCA и варианты повышения помехоустойчивости для данного типа радара. Методология: анализ существующей литературы, анализ технических характеристик радиолокаторов различных производителей, моделирование возможных типов помех, дедукция, индукция, сравнение применяемых радиолокаторов с синтезированной апертурой, формализация.

Информация об авторах:

Григорян Аарат Константинович, аспирант, инженер, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, кафедра теоретической радиотехники, Москва, Россия

Юдин Василий Николаевич, д.т.н., профессор, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

Для цитирования:

Григорян А.К., Юдин В.Н. Помехозащита радиолокатора с синтезированной апертурой космического базирования на основе цифровой АФАР // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №2. С. 4-10.

For citation:

Grigoryan A.K., Yudin V.N. (2021) Noise protection of space-based synthetic aperture radar based on digital AFAR. T-Comm, vol. 15, no.2, pp. 4-10. (in Russian)

Введение

В связи с тем, что радиолокаторы с синтезированной апертурой (PCA) имеют наилучшую разрешающую способность и имеют информационные возможности близкие к оптическим средствам обзора, возникает острая необходимость обеспечить такой уровень помехозащиты, чтобы обеспечить непрерывную правильную работу средств PCA.

Когда цель (например, корабль) впервые попадает в луч радара, начинают регистрироваться отраженные эхосигналы от каждого переданного импульса. По мере продвижения платформы все эхо-сигналы от цели к каждому импульсу регистрируются в течение времени, пока цель находится в луче. Точка, в которой цель покидает радиолокационный луч через некоторое время, определяет длину моделируемой или синтезированной антенны. Синтезированная расширяющаяся ширина луча в сочетании с увеличением времени нахождения цели в луче по мере увеличения дальности до земли уравновешивают друг друга, так что разрешение остается постоянным по всей полосе обзора.

Принцип синтеза апертуры можно подробно обсудить в примере, показанном на рис. 1. Радар с синтезированной апертурой (SAR) – это когерентная радиолокационная система бокового обзора на борту космического корабля, которая использует траекторию полета спутника для электронной имитации сверхбольшой антенны или апертуры и создает изображения с высоким разрешением на основе дистанционного зондирования. В принципе, SAR – это активная фазированная антенная решетка. Однако вместо использования большого количества параллельных антенных элементов SAR использует одну антенну. Различное геометрическое положение антенных элементов обеспечивает подвижная платформа. Спутник движется по направлению полета, а его нижняя точка направлена к центру Земли.

Системы SAR используют характеристики распространения радиолокационных сигналов на большие расстояния и возможности сложной обработки информации современной цифровой электроники для получения изображений с высоким разрешением. Радар с синтезированной апертурой дополняет фотографические и другие возможности оптического изображения из-за минимальных ограничений по времени суток и атмосферным условиям, а также из-за уникальной реакции местности и культурных целей на частоты радаров.

SAR обычно производит двумерное (2-D) изображение. Одно измерение на изображении называется дальностью (или поперечным сечением) и является мерой расстояния «прямой видимости» от радара до цели. Измерение дальности и разрешение достигаются в радарах с синтезированной апертурой так же, как и в большинстве других радаров: дальность определяется путем точного измерения времени от передачи импульса до получения эхо-сигнала от цели, а в простейшем SAR определяется разрешение по дальности по ширине передаваемого импульса; например, узкие импульсы обеспечивают высокое разрешение по диапазону.

Второе измерение – азимут, или вдоль пути, и перпендикулярно дальности. Способность SAR обеспечивать относительно высокое разрешение по азимуту отличает его от других радаров. Чтобы получить точное азимутальное разрешение, необходима физически большая антenna, чтобы сфокусировать передаваемую и принимаемую энергию в острый луч. Резкость луча определяет азимутальное разрешение.

Точно так же оптические системы, такие как телескопы, требуют больших апертур (зеркал или линз, аналогичных антенне радара) для получения высокого разрешения изображения. Поскольку SAR намного ниже по частоте, чем оптические системы, даже умеренное разрешение SAR требует антенн, физически большей, чем может практически нести бортовая платформа: часто требуется длина антены в несколько сотен метров. Однако бортовой радар может собирать данные во время полета на это расстояние, а затем обрабатывать данные, как если бы они поступали от физически длинной антенны. Расстояние, на которое летит самолет при синтезировании антенны, известно как синтетическая апертура. Узкая синтетическая ширина луча является результатом относительно длинной синтетической апертуры, которая дает более высокое разрешение, чем это возможно при использовании меньшей физической антенны.

SAR непросты и что передача коротких импульсов для обеспечения разрешения по дальности, как правило, нецелесообразна. Обычно передаются более длинные импульсы с широкополосной модуляцией, что усложняет обработку диапазона, но снижает требования к пиковой мощности передатчика. Даже при умеренном азимутальном разрешении дальность до каждого места на синтетической апертуре изменяется вдоль синтетической апертуры.

Энергия, отраженная от цели, должна быть «математически сфокусирована», чтобы компенсировать зависимость от дальности в апертуре до формирования изображения. Кроме того, для систем с высоким разрешением обработка диапазона и азимута связана (зависит друг от друга), что значительно увеличивает вычислительную обработку.

Спутники являются одними из наиболее совершенных инструментов дистанционного зондирования Земли. Спутники работают синхронно; по данным, полученным с них, будет создана глобальная цифровая модель местности и рельефа, беспрецедентная по площади покрытия и точности.

Микроволновой луч направляется под прямым углом к направлению полета, освещая полосу пропускания (рис. 1). Дальность означает плоскость в поперечном направлении, перпендикулярном направлению полета, а азимут означает плоскость в продольном направлении, параллельную направлению полета. Поле зрения относится к области поверхности Земли, с которой собираются данные бокового радара [1,4,6,7].

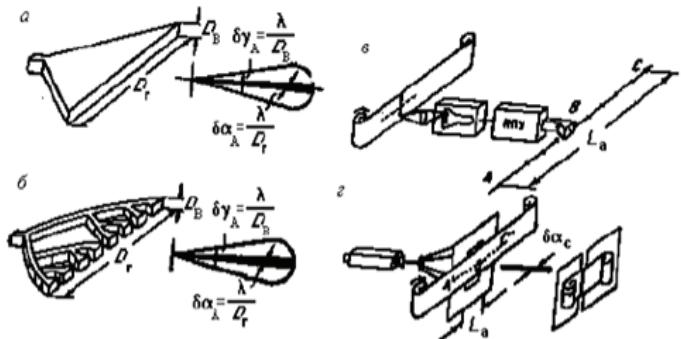


Рис. 1. Принцип построения радиолокатора с синтезированной апертурой: *а* – синфазная антenna и ее диаграмма направленности; *б* – синфазная антenna, состоященная из элементарных отражателей; *в* – бортовая аппаратура PCA; *г* – оптическая обработка информации; ППУ – приемно-передающее устройство, АС – интервал синтеза апертуры длиной L_a , В – текущее положение РЛС; D_v и D_r – вертикальный и горизонтальный размер антенны РЛС

Это ширина отображаемой на изображении зоны в плоскости диапазона. Протяженность по долготе зоны обзора определяется движением воздушного судна относительно поверхности, при этом ширина зоны обзора измеряется перпендикулярно протяженности по долготе зоны обзора. По прошествии определенного времени отдельные циклы передачи/приема (частота повторения импульсов, PRT) завершаются, и собранные данные от каждого цикла сохраняются в бортовой памяти. При обработке сигнала используются значения величины и фазы принимаемых сигналов в следующих подряд импульсах от элементов синтетической апертуры. После определенного числа циклов сохраняемые данные перекомпоновываются для создания изображения с высоким разрешением поверхности Земли, над которой был совершен пролет.

Цель облучается только тогда, когда она находится в пределах лепестка главного луча спутника, и максимальное время облучения составляет 5-7 секунд в зависимости от фактического местоположения цели относительно траектории спутника. Когда учитываются и главный луч, и боковые лепестки, максимальное время облучения будет более продолжительным. Последствия в форме вредных помех будут зависеть от рассматриваемой службы и системы. Представленная ниже информация базируется на облучении главным лепестком.

SAR, работающие на частоте вблизи 9,6 ГГц, управляются подаваемыми с Земли командами на включение и выключение, которые требуются для обеспечения просмотра только конкретных областей земной поверхности. Из всех режимов SAR, которые показаны на рис. 1, полная ширина полосы импульса ЛЧМ – 1200 МГц – предназначена для использования только при работе в точечном режиме.

Обязательными требованиями для реализации метода синтезирования апертуры являются: стабильный, полностью когерентный передатчик; эффективный и мощный радарный процессор; точная информация о траектории полета платформы и ее скорости.

С использованием такого метода разработчики радиолокаторов могут добиваться таких значений разрешающей способности, для достижения которых при помощи обычных методов потребовались бы антенны, превышающие по размерам самолеты.

Радиолокатор с синтезированной апертурой был использован на борту космического корабля в ходе радиолокационной топографической миссии (англ. Shuttle Radar Topography Mission, SRTM).

Традиционный режим маршрутной карты SAR предполагает фиксированное направление наведения антенны, направленной поперечно к траектории платформы. Маршрутная карта – это изображение, ширина которого определяется зоной обзора, и следующее по продольному контуру линии полета самой платформы. В режиме сканирования SAR радар может облучать несколько подзон обзора, сканируя свою антенну в различные позиции.

Данные будут собираться путем просмотра от 49 до 65 подполос шириной 20 км с шагом 0,35 км по азимуту. Эти данные могут использоваться далее для создания мозаики подполос по азимуту для обработки изображения размером 5 на 5 км.

На настоящий момент выделяются следующие параметры в работе PCA: время работы PCA, несущая частота зондирующего сигнала и угловое положение PCA относительно САП. В случае если противнику известны все эти параметры, то работу PCA можно подавить за счет создания помех. В данном случае возникает необходимость создания механизмов помехоустойчивости радаров.

В таблице 1 приведены технические характеристики COSMO-SkyMed – 4 (Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation) X-диапазона (производства Италии), TerraSAR-X/TanDEM-X (Германия), «Касатка-Р» (Россия).

Таблица 1

Основные характеристики радиолокаторов с синтезированной апертурой

Наименование радиолокатора	Спектральный диапазон	Радиометрическое разрешение, бит/пиксель	Периодичность съемки, сутки	Скорость передачи данных на наземный сегмент, Мбит/с
COSMO-SkyMed – 4	X-диапазон (3,1 см)	8	(на экваторе), 7 (на широте 40 град)	300
TerraSAR-X/TanDEM-X	X-диапазон (от 3,1 до 7,98 см)	16	11 (подцикл: 2,5 суток)	300
«Касатка-Р»	X-диапазон (от 3,1 до 7,98 см)	12	30	600

Радиолокатор TerraSAR-X/TanDEM-X на сегодняшний день является наиболее точным спутником, позволяющим выполнять интерферометрическую съемку земной поверхности со сверхвысоким пространственным разрешением (лучше 1 м на местности). Особенностью этих радиолокационных спутников является способность получать изображения земной поверхности при любой видимости в независимости от метеорологических условий в любое время суток [8]. Спутник TerraSAR-X, разработанный Немецким аэрокосмическим центром (DLR) и компанией EADS Astrium GmbH, был запущен 15 июня 2007 г. с космодрома Байконур и выведен на круговую солнечно-синхронную орбиту высотой 514 км с наклонением 97,44°. Спутник оснащен новейшим радаром с синтезированной апертурой, позволяющим выполнять радиолокационную съемку земной поверхности со сверхвысоким пространственным разрешением до 1 м, что делает спутниковую систему TerraSAR-X одним из наиболее совершенных инструментов дистанционного зондирования Земли.

Системы SAR обычно устанавливаются на бортовых или космических платформах, включая пилотируемые самолеты, дроны, а также военные и гражданские спутники. Доплеровские сдвиги от движения радара относительно земли используются для электронного синтеза более длинной антенны, где синтетическая длина (L) апертуры равна: $L = vxt$, где «v» – относительная скорость платформы, а «t» – период наблюдения. В зависимости от высоты платформы буква L может быть довольно длинной. Мультиплексированные по времени обратные сигналы от антенны радара рекомбинируются электронным способом для получения желаемых изображений в режиме реального времени или последующей обработки.

Виды помех

Применение РСА позволяет получать РЛИ местности с расположенным на ней объектами с высоким пространственным разрешением. При этом разрешающая способность по наклонной дальности и путевой дальности (азимуту) обеспечивается за счет использования в качестве зондирующего сигнала последовательности радиоимпульсов (в том числе и с внутриимпульсной частотной либо фазовой модуляцией) и когерентного сложения сигналов, отраженных от земной поверхности, полученных на участке траектории носителя РСА (интервале синтезирования – синтезированной апертуре).

Рассматривая вопрос о помехозащите радиолокатора с синтезируемой апертурой, следует выделить тип помех, оказывающих эффективное мешающее воздействие на защищаемый объект и определить их степень воздействия в зависимости от параметров источника помех.

Помехи могут быть преднамеренными, т.е. специально создаваемыми комплексами РЭП, и непреднамеренными. К последним относятся сигналы различного рода источников электромагнитного излучения (промышленные, связные, навигационные, бытовые и другие технические устройства), а также сигналы РСА, отраженные от объектов, земной и водной поверхности, дождя и т.п. [1].

Существует три основных вида преднамеренных помех: маскирующие, имитирующие и деструктивные:

1) Маскирующие помехи являются препятствием по причине существующих различий мощностей сигнала цели и шума (система сигнал/шум) за счет введения дополнительных помеховых сигналов.

2) Имитирующие помехи имеют параметры, близкие к параметрам сигналов цели и создают ложные помехи в РСА.

3) Деструктивная помеха – это мощное электромагнитное излучение, которое попадает на вход приемника РСА и отключает полупроводниковые устройства, прерывая работу РСА.

Особый класс помех – это активное воздействие на среду распространения радиоволн, которое увеличивает поглощение электромагнитных волн на пути распространения (поглощающие завесы). Эта помеха снижает энергию сигналов цели. Пассивные помехи работают аналогичным образом, уменьшая ЭПР цели или разрушая фазовую структуру отраженного сигнала цели. Примером такого вмешательства могут быть различные типы абсорбирующих покрытий, наносимых на мишень.

Наиболее опасными для РСА являются:

1. частотные и направленные активные маскирующие помехи;

2. пассивные имитирующие помехи, создаваемые сигналами от моделей надувных целей, угловых отражателей и облаков дипольных отражателей;

3. конструкции, снижающие ЭПР мишени (технология СТЭЛС, поглощающие покрытия).

Борьба с пассивными имитационными помехами сводится к решению задачи распознавания цели. При высоком разрешении распознавание осуществляется по размеру изображения цели, динамике движения цели.

Организовывать помехозащиту РЛС следует с защиты от преднамеренной широкополосной помехи (ШП). Это целесообразно в связи с тем, что ШП – наиболее распространенная и простая в исполнении. ШП представляет собой широкополосный сигнал, равный или превосходящий по ширине спектра возможности приемного тракта цели. ШП обеспечивает высокий уровень отношения шум/сигнал, что затрудняет работу РЛС.

Всё многообразие методов борьбы с помехами можно свести к нескольким подходам, показанным на рис. 2.

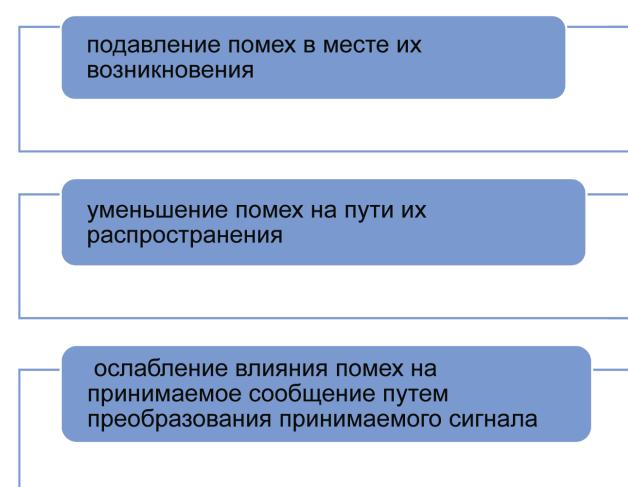


Рис. 2. Методы борьбы с преднамеренными помехами

С учетом предлагаемых методов существует необходимость увеличения помехозащищенности РСА, что способствует повышению качества передаваемого сигнала и снижению числа вероятных ошибок при передаче сигнала.

Рассмотрим механизм помехозащиты для радиолокаторов исследуемых производителей.

Спутники COSMO-SkyMed могут работать в двух основных конфигурациях, а именно в «номинальной орбитальной конфигурации» или в «интерферометрической орбитальной конфигурации», что позволяет снизить влияние помех на сигнал, передаваемый спутнику за счет объединения двух радиолокационных измерений одной и той же цели при немного разных углах падения. За счет работы системы спутников изображение, передаваемое на станции, является более точным. Антenna подсистема SA-2000 X-диапазона, также называемая SAA (SAR Antenna Assembly), представляет собой большую развертываемую плоскую фазированную решетку, работающую в двойной линейной поляризации, способную генерировать и направлять лучи T/R, способные принимать множество различных форм вдоль плоскости возвышения антенны. Кроме того, антenna имеет функции калибровки на орбите и возможность загрузки новых разработанных лучей.

Система спутников TerraSAR-X/TanDEM-X использует следующий механизм помехоустойчивости радиолокатора: одновременная съемка местности (интерферометрическая пара снимков), что позволяет ослабить влияние помех на сигнал за счет увеличения количества снимков [9].

Спутники «Касатка – Р» являются примером спутников использующих сверхчастотные методы зондирования, что обеспечивается за счет увеличения площади антенны (разворот площади апертуры), позволит в любую погоду с орбиты рассмотреть на поверхности Земли объекты размером с

футбольный мяч. Высокодетальный радиолокационный комплекс (ВРЛК) нового поколения разработан АО «НИИ ТП» (входит в интегрированную структуру АО «Российские космические системы»). В «Касатке» реализована технология цифрового формирования лучей антенны, которая позволяет радиолокатору формировать кадры изображений высокого разрешения, по размеру значительно превосходящие кадры изображений, получаемых классическими однолучевыми радиолокаторами.

С учетом дальнейшего совершенствования механизмов помехозащиты существует возможность получения сверхточных изображений местности. На сегодняшний день наиболее точными изображениями являются файлы со спутников COSMO-Skymed и TerraSAR-X/TanDEM-X.

Критерий оценки помехоустойчивости

Помехозащищенность характеризует эффективность работы РСА в условиях указанных помех. Под помехоустойчивостью (помехозащищенностью) понимают способность радиосистемы противостоять воздействию помех. Так как полностью устранить влияние помехи в реальных устройствах не представляется возможным, вводится параметр, характеризующий степень соответствия принятого сообщения от переданного.

В общем случае, к такому параметру относится средняя вероятность ошибочного приема:

$$P_{\text{ош.ср}} = \sum p_i * (1 - P_{\text{ош.и}}), \quad (1)$$

где p_i – вероятность передачи сигнала

Также, обобщённым параметром, определяющим помехоустойчивость системы, является остаточная средняя неопределенность относительно переданного сообщения, т.е. энтропия:

$$H_0 = - (1 - P_{\text{ош.ср}}) \log(1 - P_{\text{ош.ср}}) - P_{\text{ош.ср}} * \log P_{\text{ош.ср}} \quad (2)$$

Влияние помех в линии связи приводит к тому, что вместо отправленного сообщения $X(t)$ получено сообщение $Y(t)$. Для количественного описания помехоустойчивости используется параметр квадрат разности принятого и переданного сигнала.

$$R = \overline{(X(t) - Y(t))^2} = 1/T \int [X(t) - Y(t)]^2 dt \quad (3)$$

Способы повышения помехоустойчивости

Повышение уровня помехоустойчивости РСА является приоритетным направлением. Наиболее распространенным методом, является увеличение отношения сигнал/помеха за счет увеличения мощности передатчика [3,6]. Но, так как мощность оборудования, расположенного на объекте космического базирования, имеет предел, возникает вопрос о необходимости иного пути решения вопроса о повышении отношения сигнал/помеха.

Помехоустойчивость РСА изучена в работах В.И. Кулаковой, С.А. Ноздрина [2], где говорится о возможности на-

копления 60 последовательных отсчетов траекторного сигнала, соответствующих одному элементу дальности, позволяющих не только повысить помехозащищенность, но и снизить вычислительную нагрузку. Широко известны исследования Булгакова С.Л., Михеенкова Ю.П., Крючкова В.Н., Федоскина О.И., Хилевич Д.А. в области повышения помехоустойчивости для РСА[3].

Анализируя, средствами РЭБ, помеху, воздействующую на защищаемый объект, можно адаптировать зондирующий сигнал (ЗС) РЛС РСА таким образом, чтобы влияние помехи было минимальным.

Для этого необходимо различить вид ШП, и определить порядок действий для повышения отношения сигнал/помеха.

Возможные меры для увеличения помехозащищенности показаны на рис. 3.



Рис. 3. Варианты увеличения помехозащищенности для РСА

Выбор формы и параметров ЗС должен обеспечить оптимальную скрытность работы РСА, и также возможность противодействия постановщику активной помехи (ПАП).

Адаптивная перестройка несущей частоты и ширины спектра ЗС усложняет процесс постановки помехи и позволяет защищаемой РЛС непрерывно отстраиваться от частоты созданной помехи. Чем дольше помеха наводится по частоте, тем эффективнее помехозащита.

Пространственная селекция позволяет скомпенсировать помеховое излучение на входе основного приемного канала.

Зависимость дальности действия РСА от различных параметров

На графиках ниже показана зависимость дальности действия радара от различных параметров: мощности передатчика (рис. 4), отношения мощности радара к РАР (рис. 5) и коэффициента перекрытия (рис. 6).

Дальность действия РЛС существенно возрастает при увеличении мощности передатчика и пороговой чувствительности приемника, что можно наблюдать на рис. 5 и 6.

Чем выше мощность радиолокатора, тем большее расстояние до источника помех он может определять, что способствует быстрому обнаружению угрозы и эффективному их устранению.

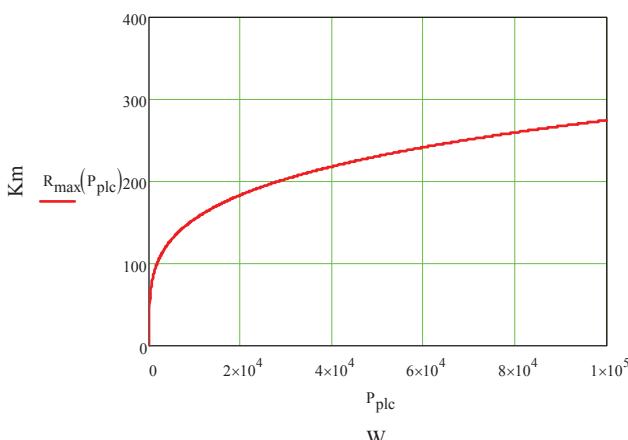


Рис. 4. Зависимость дальности действия от мощности передатчика

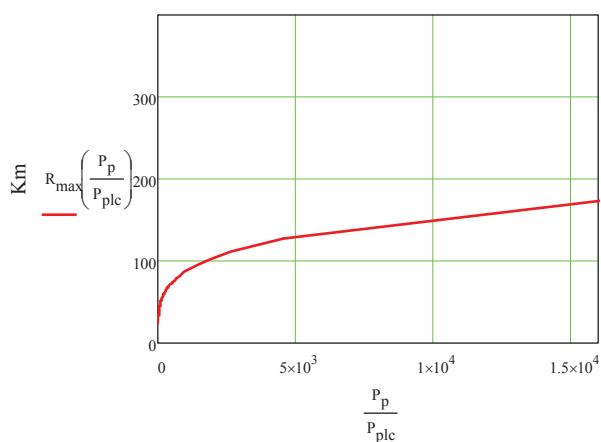


Рис. 5. Зависимость дальности действия от отношения мощностей РЛС/ПАП

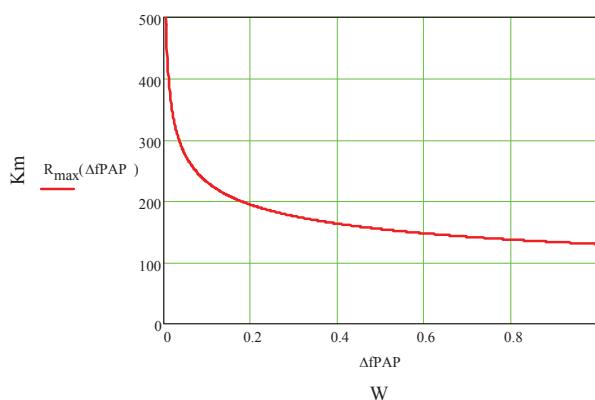


Рис. 6. Зависимость дальности действия от коэффициента перекрытия

С учетом возрастания коэффициента перекрытия падает и дальность действия РЛС.

Выводы

1. Требования к помехозащите от широкополосной помехи должны обеспечивать достаточный уровень отношения сигнал/помеха для беспрерывной и корректной работы РЛС.

2. Наиболее точные изображения на сегодняшний день могут предоставить спутниковые системы TerraSAR-X, TanDEM-X.

3. Российские радары с синтезированной апертурой являются устойчивыми к помехам по причине увеличения площади апертуры.

4. РСА на основе цифровой активной фазированной антенной решетки, космического базирования, имеет ряд преимуществ, которые необходимо учитывать при организации помехозащиты защищаемого объекта.

5. Полученные результаты следует применять для выявления взаимосвязей различных характеристик бортовой аппаратуры для более эффективного использования средств РЭБ.

6. На дальность противодействия оказывают существенное влияние оказывающие следующие параметры: время обзора сектора сканирования, дальность до источника помехи, мощность помехи, коэффициент усиления по помехе.

7. Дальность действия РЛС прямо пропорциональна мощности передатчика (рис. 4), отношению мощностей РЛС/ПАП (рис. 5) и обратно пропорциональна от коэффициента перекрытия (рис. 6).

Литература

- Неронский Л.Б., Михайлов В.Ф., Брагин И.В. Н54 Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны // Учеб. Пособие. СПбГУАП. СПб., 1999. Ч. 2. 220 с.
- Кулакова В.И., Ноздрин С.А., Сохарев А.Ю., Царик Д.В. Система микронавигации для поддержки радиолокатора с синтезированной апертурой на борту малогабаритного БПЛА. Электронный ресурс. URL: http://www.elektropriv.org.spb.ru/upload/media/library/d86/130_146_Kulakova.pdf – Дата обращения (23.08.2020).
- Булгаков С.Л., Михеенков Ю.П., Крючков В.Н., Федоскина О.И., Хилевич Д.А. Комплексная инерциально-спутниковая навигационная система. Патент РФ. Электронный ресурс. –URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2439498C1_20120110 – Дата обращения (23.08.2020).
- Радар с синтезированной апертурой. Электронный ресурс. URL: <https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html> – Дата обращения (23.08.2020).
- Антоненко А.А., Кондратёнок В.А., Моисеев В.В. Методика оценки помехоустойчивости радиолокационных станций с синтезированной апертурой антенны // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2011. №6 (60). С. 87-91.
- Доросинский Л.Г. Анализ помехоустойчивости РЛС с синтезированной апертурой // Ural radio engineering journal. 2018. Vol. 2, № 2. Электронный ресурс. URL: <http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/61512/1/urej-2018-2-06.pdf> – Дата обращения (23.08.2020).
- Характеристики радаров с синтезированной апертурой, работающих в спутниковой службе исследования Земли (активной) в полосе около 9600 МГц. Рекомендация МСЭ-R RS.2043-0. – Электронный ресурс. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/rs/R-REC-RS.2043-0-201402-I!!PDF-R.pdf – Дата обращения (23.08.2020)
- Спутники ДЗЗ. COSMO-SkyMed. Электронный ресурс. URL: <https://innoter.com/sputniki/cosmo-skymed>. – Дата обращения (23.08.2020).
- Чимитдоржсев Т.Н., Быков М.Е., Кантемиров Ю.И. и др. Технология количественной оценки высоты леса по данным космических радарных тандемных интерферометрических съемок со спутников TerraSAR-X/TanDEM-X // Геоматика №1.2014. С.72-79.

NOISE PROTECTION OF SPACE-BASED SYNTHETIC APERTURE RADAR BASED ON DIGITAL AFAR

Ararat K. Grigoryan, Moscow aviation Institute (national research University), Moscow, Russia, araratu@mail.ru
Vasily N. Yudin, Moscow aviation Institute (national research University), Moscow, Russia, vn_yudin@mail.ru

Abstract

The article deals with General questions about the definition of parameters, the calculation of which is necessary for choosing a method for organizing interference protection of a synthetic aperture radar (RSA), analyzes and notes the features of the construction and functioning of the RSA. The features of noise protection on radars of various companies are considered: COSMO-SkyMed -4 (Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation) X-band (made in Italy), TerraSAR-X/TanDEM-X (Germany), "Kasatka-R" (Russia). The subject of the study is a synthetic aperture radar, which is a coherent radar system that uses the flight path of the platform to simulate extremely large obstacles or objects electronically, and which generates high-resolution remote sensing images. Over time, individual transmit / receive cycles are completed, and data for each cycle is stored electronically. When the signal processing uses the amplitude and phase of the received signals in successive pulses from elements of a synthetic aperture. After a set number of cycles, the stored data is re-combined (taking into account the Doppler Effect inherent in different transmitters for the target geometry in each subsequent cycle) to create a high-resolution image of the terrain over which the flight is performed. The analysis of the RSA parameters that affect the radar noise immunity is performed. Objective: to analyze the interference protection of a space-based synthetic aperture radar based on digital AFAR. It is necessary to identify the type of interference that has an effective interfering effect on the protected object and determine their degree of impact depending on the parameters of the interference source. Noise immunity refers to the ability of a radio system to resist interference. Radars from various manufacturers have differential methods for improving noise immunity. The calculation of the radar range is given for the purpose of detailed consideration of the parameters of the maximum range of radio interference. The paper focuses on the main radar interference and options for improving noise immunity for this type of radar. Methodology: analysis of existing literature, analysis of technical characteristics of radars from various manufacturers, modeling of possible types of interference, deduction, induction, comparison of used radars with synthesized aperture, formalization.

Keywords: interference, broadband interference, radiation, anti-jamming, radar, synthetic aperture.

References

1. L.B. Neronsky, V.F. Mikhailov, V.N. Bragin. Microwave equipment for remote sensing of the Earth's surface and atmosphere. Radars with synthesized antenna aperture. Study guide. Spbgup. SPb., 1999. Part 2. 220 p.
2. V.I. Kulakova, S.A. Nozdrin, A.Yu. Sokharev, D.V. Tsarik. Micro-navigation system to support synthetic aperture radar on Board a small-sized UAV. Electronic resource. URL: http://www.elektrorpribor.spb.ru/upload/medialibrary/d86/130_146_Kulakova.pdf -date of request (23.08.2020).
3. S.L. Bulgakov, Mikheenkov Yu.P., Kryuchkov V.N., fedoskina O.I., Khilevich D.A. Complex inertial-satellite navigation system. Patent of the Russian Federation. Electronic resource. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2439498C1_20120110 -date of request (23.08.2020).
4. The synthetic aperture radar. Electronic resource. URL: <https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html> -date of request (23.08.2020)
5. A.A. Antonenko, V.A. Kondratenok, V.V. Moiseev. Method for evaluating the noise immunity of radar stations with a synthesized antenna aperture. Reports of the Belarusian state University of Informatics and Radioelectronics. 2011. No. 6 (60). Pp. 87-91.
6. L.G. Dorosinsky. Analysis of noise immunity of synthetic aperture radar. Ural radio engineering journal. 2018. Vol. 2. No. 2. Electronic resource. URL: <http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/61512/1/urej-2018-2-06.pdf> -date of request (23.08.2020)
7. Characteristics of synthetic aperture radars operating in the Earth research satellite service (active) in the band of about 9600 MHz. Recommendation ITU-R RS. 2043-0. Electronic resource. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/rs/R-REC-RS.2043-0-201402-!!_PDF-R.pdf-accessed (23.08.2020).
8. Satellites of remote sensing. COSMO-SkyMed. Electronic resource. URL: <https://innoter.com/sputniki/cosmo-skymed/> - date of request (23.08.2020).
9. T.N. Chimitdorzhiev, M.E. Bykov, Yu.I. Kantemirov and others. Technology for quantitative estimation of forest height based on data from space radar tandem interferometric surveys from TerraSAR-X/TanDEM-x satellites. GEOMATICS. No. 1, 2014. P. 72-79.

Information about authors

Ararat K. Grigoryan, postgraduate student, engineer, Moscow aviation Institute (national research University), Moscow, Department of theoretical radio engineering, Moscow, Russia

Vasily N. Yudin, Professor, doctor of technical Sciences, Moscow aviation Institute (national research University), Moscow, Russia