

Разработка РЛС радиовидения космических аппаратов миллиметрового диапазона РЛС РВ МГТУ

77-30569/253036

11, ноябрь 2011

Нефедов С. И., Слукин Г. П., Крючков И. В., Коротеев Д. Е.,
Шустиков В. Ю.

УДК 621.396.96

НИИ РЭТ МГТУ им. Н.Э. Баумана

nefedov@bmstu.ru

kryuchkov@bmstu.ru

Koroteev@gmail.com

rt75shust@mail.ru

Одним из направлений современной радиолокации является создание систем радиовидения, позволяющих дистанционно получать изображение удаленных объектов или местности. В рамках данного направления особое место занимают радиолокационные станции радиовидения космических аппаратов, позволяющие осуществлять высокоточную локацию объектов на околоземной орбите и получать их изображения с помощью технологии 3D-ISAR. Станции такого типа до настоящего времени создавались в Германии и США [1-5].

В рамках ряда проектов в МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИИ РЭТ) была создана станция, позволяющая получать изображения низкоорбитальных космических аппаратов и работающая в миллиметровом диапазоне радиоволн.

При разработке данной станции необходимо было обеспечить выполнение следующих требований.

1. Возможность получения радиоизображения космического аппарата в качестве, близком к оптическому, и с пиксельным разрешением не хуже нескольких десятков сантиметров. Для достижения таких характеристик станция должна иметь возможность работать зондирующим сигналом с крайне большой базой, а также обеспечивать возможность обрабатывать радиолокационную информацию в соответствии с технологией инверсного синтеза апертуры при применении широкополосного сигнала.

2. Когерентность зондирующего сигнала в течение времени, достаточном для получения требуемого разрешения по поперечной к линии визирования координате.

С учетом различного рода искажений на трассе распространения из-за погрешностей и потерь при обработке необходимое время будет находиться в пределе 3...7 секунд.

3. Возможность излучать и принимать сигналы с полосой до единиц ГГц, что необходимо для обеспечения требуемого разрешения по продольной к линии визирования координате.

4. Первичное обнаружение портретируемого объекта по предварительному целеуказанию. Для этого станция должна иметь возможность работать узкополосным сигналом с полосой не более нескольких сотен КГц.

5. Высокий потенциал станции при максимально высоком угловом разрешении.

Все перечисленное накладывает требования на антенную систему и приемо-передающие тракты радиолокатора. Антенная система должна обладать диаметром от 5 до 30 м, быть при этом широкополосной, а также обладать высокоточной и высокоскоростной следящей системой, обеспечивающей сопровождение аппарата по угловым координатам. Приемо-передающая система должна позволять излучать и принимать как широкополосный, так и узкополосный сигнал и при этом обеспечивать наибольший коэффициент полезного действия при средней мощности вплоть до нескольких десятков КВт.

Выбор частотного диапазона длин волн для проектируемой станции диктуется рядом взаимосвязанных факторов [6]. Во-первых, необходимо обеспечить высокую точность оценки угловых координат, для чего следует выбирать частотный диапазон либо в короткой части сантиметрового диапазона, либо в миллиметровом диапазоне. Во-вторых, существенную роль будет играть затухание радиоволн при распространении в атмосфере. Рабочая частота РЛС должна находиться в одном из так называемых окон прозрачности. В-третьих, необходимо обеспечить максимальный коэффициент усиления антенной системы. Исследования показали [6], что оптимальной рабочей длиной волны станции радиовидения будет являться длина волны 8 мм.

Проект РЛС РВ МГТУ является наращиваемым и предполагает запуск нескольких очередей, реализующих последовательное улучшение характеристик в части расширения полосы и обновления алгоритмического обеспечения комплекса. В настоящий момент запущена первая очередь оборудования, позволяющая в полной мере реализовать процессы допоиска, обнаружения, сопровождения и получения длительной когерентной пачки, пригодной для синтезирования. Первая очередь предполагает работу по низкоорбитальным космическим аппаратам на дальностях до 1500...2000 км узкополосным (10 МГц) сигналом при средней мощности передающего устройства

300 Вт. Приемная аппаратура позволяет накапливать когерентную пачку длительностью до 12 с в стробе дальности до 1 км.

Вторая очередь аппаратуры предполагает расширение полосы до 400 МГц и оптимизацию режимов обнаружения и сопровождения, а также увеличение дальности работы комплекса на 15...20 процентов.

Современная цифровая техника позволяет при оптимальных затратах вычислительного ресурса проводить обработку принятого радиолокационного сигнала на дистанциях до одного километра и при длительности когерентной пачки до нескольких секунд в полосе до 400...500 МГц. С учетом развития вычислительной техники можно ожидать через 1...2 года появления аппаратных решений, позволяющих расширить возможности прямой цифровой обработки сигнала до значений полосы 1...1,5 ГГц. Третья очередь аппаратуры как раз и предполагает переход на широкополосный режим работы станции с полосой до 1,5 ГГц. В дальнейшем планируется обеспечить повышение мощности передающего устройства вплоть до 1,5 кВт.

Конструктивно станция РЛС РВ МГТУ выполнена на базе западной антенны радиотелескопа РТ-7,5, представляющую собой касегреновскую зеркальную антенну диаметром 7,5 м (рисунок).



Радиолокатор представляет собой станцию с цифровым приемом и формированием зондирующего сигнала. Это позволяет работать на выбранной рабочей частоте всего с одним преобразованием частоты, что существенно упрощает схему построения аппаратуры радиолокационной станции. В качестве усилителя мощности в первой очереди аппаратуры применяется лампа бегущей волны, во второй очереди – клистрон. Для сопровождения и допоиска цели в станции применяется трехконтурный следящий привод, обеспечивающий динамическую ошибку сопровождения не более 2-х угловых секунд.

Аппаратура станции реализует многоканальный прием и обеспечивает моноимпульсную пеленгацию цели с цифровым построением дискриминационных характеристик. При таком весьма рациональном решении цифровая обработка выполняется для каждого из приемных каналов, а определение направления на цель выполняется расчетным путем по обнаруженным отметкам о цели в каждом из каналов. Для обеспечения калибровки может применяться дополнительный канал когерентизации принятого сигнала, основанный на учете начальной фазы и искажений формы зондирующего сигнала при формировании когерентной пачки большой длительности.

При применении цифровых приемников с недостаточной для прямой обработки полосой зондирующего сигнала, целесообразным может оказаться использование комбинированной схемы, основанной на "аналоговом" синтезе спектра. В этом случае полоса обеспечивается по автодинной схеме для небольшого фиксированного диапазона дальностей. Учет неидеальности сигнала при этом проводится путем цифровой регистрации биений излученного и задержанного на некоторое время принятого зондирующего сигнала.

Рассмотренные варианты построения аппаратуры приема и обработки зондирующего сигнала ориентированы на работу с сигналом, предназначенным для построения изображений. Совершенно очевидно, что проводить обнаружение тем же самым сигналом является нецелесообразным. Исходя из этого, в станции радиовидения используется так называемый режим "лупы", то есть применение широкополосного сигнала радиовидения по уже обнаруженной и сопровождаемой цели. Для обнаружения и взятия на сопровождение необходимо применять узкополосный сигнал с высокой энергетикой. Таким сигналом, например, может являться квазинепрерывный сигнал с длительностью импульса $2 \dots 5$ мкс и скважностью $5 \dots 10$. Достоинством разработанных решений является возможность перехода из одного режима в другой программным путем без существенных доработок аппаратуры.

Обработка информации в радиолокационной системе радиовидения является многоуровневой. Помимо собственно алгоритмов получения изображений, необходимо применять дополнительно алгоритмы формирования когерентной пачки в широкополосном режиме, а также комплекс служебных алгоритмов, позволяющих провести обнаружение радиолокационного сигнала в энергетически выгодном режиме до момента перехода на получение пачки, необходимой для синтеза изображения, а также алгоритмы допоиска и сопровождения космического аппарата [7].

Алгоритмы синтеза радиолокационной пачки будут при решении рассматриваемой задачи сильно зависеть от параметров антенной системы радиолокационной станции.

В случае применения зеркальной антенны, как в разработанной станции РЛС РВ МГТУ, непрерывный контакт с целью в течение секунды и более обеспечивается высокоточным следящим приводом антенной системы радиолокационной станции. При этом пачка, необходимая для выполнения синтезирования, будет формироваться в соответствии с методиками и алгоритмами длительного когерентного накопления [8, 9].

Созданная радиолокационная станция радиовидения космических аппаратов миллиметрового диапазона РЛС РВ МГТУ является интересным исследовательским инструментом, позволяющим продвинуться в области создания алгоритмов и методик получения радиоизображений космических аппаратов и высокоточного определения их координат, а также в исследовании прохождения радиоволн миллиметрового диапазона на трассах распространения Земля-космос.

Список использованных источников:

1. Левитан Б.А., Толкачев А.А. Перспективы создания мощных радиолокационных станций миллиметрового диапазона длин волн. // Радиотехника. 2009. №10. С. 63-68.
2. Mehrholz D. Potentials and Limits of Space Object Observations and Data Analyses Using Radar Techniques. // ESA SD-01: Proc. First European Conference on Space Debris. Darmstadt. 1993.
3. Bensch J.U., Pensa A.F., Zuerndorfer B.W. The Haystack and Haystack Auxiliary Radars and their Role in Debris Environment Characterization. // ESA SD-01: Proc. First European Conference on Space Debris. Darmstadt. 1993.
4. Нефедов С.И., Крючков И.В., Коротеев Д.Е. Особенности проекта миллиметровой радиолокационной системы радиовидения космических аппаратов // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 2009. Спец. выпуск. С. 48 – 52.
5. WARLOC: A High Power Millimeter-Waves Radar / B.G. Danly [etc.] // 27 Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves San-Diego CA USA. 2002. P. 233 – 234.
6. Нефедов С.И. Выбор рационального диапазона рабочих частот для радиолокационной станции радиовидения космических аппаратов // Радиолокация, навигация, связь: Труды XVII международной научно-технической конф. Воронеж. 2011. Т. 3. С. 1697 - 1701.
7. Нефедов С.И. Алгоритмическое обеспечение радиолокационных станций миллиметрового диапазона радиовидения космических аппаратов // Радиолокационное зондирование природных сред: Труды XXVII всероссийского симпозиума. Санкт-Петербург. 2011 – в печати.

8. Федоров И.Б., Слукин Г.П., Нефедов С.И. Перспективы применения технологии длительного когерентного накопления в обзорных радиолокационных станциях // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 2005. Спец. выпуск. С.112-132.

9. Нефедов С.И., Нониашвили М.И., Юсова Ю.С. Исследование условий и механизмов появления локальных нарушений временной когерентности принятого радиолокационного сигнала при локации целей в режиме длительного когерентного накопления // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2009. Спец. выпуск. С.105-110.

Development of radar for radio vision of spacecrafts in millimeter-wave band – radar RV MGTU

77-30569/253036

11, November 2011

Nefedov S.I., Slukin G.P., Kryuchkov I.V., Koroteev D.E., Shustikov V.Yu.

Bauman Moscow State Technical University

nefedov@bmstu.ru

kryuchkov@bmstu.ru

Koroteev@gmail.com

rt75shust@mail.ru

Radar station created in BMSTU (RDE RET) that allows to get the images of low-orbit spacecrafts and working in the millimeter-wave band was considered in this article. Created radar station is an interesting researching tool, allowing to breakthrough in the sphere of creating algorithms and methods for taking radar pictures of aircrafts and their high-accuracy detection; it also provides tools for research of millimeter-wave propagation at the Earth-Space path.

Publications with keywords: [radar](#), [isar image](#), [space vehicle](#), [radio telescope](#)

Publications with words: [radar](#), [isar image](#), [space vehicle](#), [radio telescope](#)

Reference:

1. Levitan B.A., Tolkachev A.A., Radiotekhnika 10 (2009) 63-68.
2. Mehrholz D., Potentials and Limits of Space Object Observations and Data Analyses Using Radar Techniques, ESA SD-01, in: Proc. First European Conference on Space Debris, Darmstadt, 1993.
3. Bensch J.U., Pensa A.F., Zuerndorfer B.W., The Haystack and Haystack Auxiliary Radars and their Role in Debris Environment Characterization, ESA SD-01, in: Proc. First European Conference on Space Debris, Darmstadt, 1993.
4. Nefedov S.I., Kriuchkov I.V., Koroteev D.E., Vestnik MGTU. Ser. Priborostroenie - Bulletin of BMSTU. Ser. Instrumentation Special issue (2009) 48-52.
5. B.G. Danly, et al., WARLOC: A High Power Millimeter-Waves Radar, in: Proc. of 27 Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves, San-Diego CA, USA, 2002, pp. 233 – 234.

6. Nefedov S.I., in: Proceedings of XVII international scientific and technical conference on Radiolocation, Navigation and Communication, Voronezh, Vol.3, 2011, pp. 1697-1701.
7. Fedorov I.B., Slukin G.P., Nefedov S.I., Vestnik MGTU. Ser. Priborostroenie - Bulletin of BMSTU. Ser. Instrumentation Special issue (2005) 112-132.
8. Nefedov S.I., Noniashvili M.I., Iusova Iu.S., Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Priborostroenie - Bulletin of BMSTU. Ser. Instrumentation Special issue (2009) 105-110.