

Возможности радиолокации воздушных объектов сигналами космических аппаратов

Н.А. Дугин¹, Ю.В. Тихомиров², А.А. Антипенко², А.К. Чагунин¹, М.Б. Нечаева³

¹ННГУ им. Н.И. Лобачевского, пр. Гагарина, 23, 603950, г. Нижний Новгород, Россия, ndugin@yandex.ru

²НИРФИ ННГУ им.Н.И. Лобачевского, ул. Б.Печерская, д.25/12а, 603950, г. Нижний Новгород, Россия, tikhomirov@nirfi.unn.ru

³ОКБМЭИ, Москва, Россия, ул. Красноказарменная, д. 14, 111250, г. Москва, Россия nech7@yandex.ru

В докладе исследуется возможность применения метода просветной радиолокации в задаче обнаружения малоразмерных воздушных объектов при использовании в качестве зондирующих сигналов излучения космических аппаратов, находящихся в околоземном космическом пространстве. Метод просветной локации основан на явлении существенного увеличения бистатической эффективной отражающей поверхности цели при рассеянии зондирующего сигнала вперед, т.е. по направлению главного луча диаграммы направленности локатора. Рассматриваются радиолокационные системы с передатчиками на действующих космических аппаратах глобальных навигационных систем и сетью наземных приемных пунктов при применении корреляционных методов обработки, принятых в радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой. Приводятся первые результаты экспериментальных работ по обнаружению и определению параметров траектории полета воздушных объектов (гражданских самолетов) при их локации сигналами спутниковых навигационных систем (ГЛОНАСС, GPS, Галилео).

The message analyses the possibility of the forward scatter radar method for detecting small-sized airborne objects when using emission of spacecrafts in near-Earth space as probing signals. The method of the forward scatter radar is based on the phenomenon of a significant increase the bistatic radar cross section of target when the probe signal is scattered forward, i.e. along direction of the principal beam of locator pattern. We consider thr radar systems, including transmitters, installed on operating space vehicles of global navigation systems, and a network of ground receiving stations, with applying correlation processing methods, adopted in Very Long Baseline Interferometry. The first results of experimental work on the detection and trajectory parameters determination of airplanes (civil aircraft) st their location by signals from satellite navigation systems (GLONASS, GPS, Galileo) are presented.

При решении задачи обнаружения низколетящих целей и малозаметных воздушных объектов, изготовленных по технологии Стелс (или с применением радиопоглощающих покрытий), стало очевидно, что эффективность традиционных методов радиолокации стала снижаться, и были начаты поиски новых способов решения данной проблемы. Обзор перспективных разработок в области радиолокации показал, что большое внимание стало уделяться так называемым «просветным» РЛС [1-5]. Наиболее важное применение данный метод нашел в задаче обнаружения низколетящих и трудно обнаружимых целей при охране ограниченных территорий.

Просветные РЛС относятся к классу бистатических или разнесенных радиолокационных систем. Такое построение имеет ряд преимуществ по сравнению с моностатическим радиолокатором [6-8], заключающихся в возможности реализации метода, основанного на просветном эффекте. Этот эффект состоит в том, что при облучении объекта, размеры которого в несколько раз больше длины волны, излучаемой передатчиком, энергия, рассеянная назад, на несколько порядков (в среднем на три) меньше энергии, рассеянной вперед по линии облучения, в результате

чего эффективная площадь рассеяния (ЭПР) объекта при наблюдении в бистатическом радиолокаторе «на просвет» в тысячи раз превосходит ЭПР объекта для традиционного моностатического радиолокатора.

Применение просветного эффекта изначально предполагает расположение приемника по другую сторону от объекта относительно передатчика. Просветным системам присуща небольшая зона действия (в окрестности отрезка, соединяющего передатчик с приемником) и малая задержка рассеянного сигнала относительно прямого сигнала передатчика, поступающего непосредственно на вход приемной системы. На рис. 1 приведена схема комплекса просветной локации.

Максимальная ЭПР объекта σ в направлении «вперед» ($\beta = 180^\circ$) определяется по соотношению

$$\sigma = 4\pi \left(\frac{S}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

где S – площадь апертуры объекта с линейным размером L ,

λ – длина волны.

Угол рассеяния θ в первом приближении определяется как диаграмма направленности апертуры с линейными размерами L на данной длине волны (на уровне половинной мощности)

$$\theta \approx \lambda / L \quad (2)$$

Условие, что длина волны λ много меньше размера объекта, принципиально для получения просветного рассеяния, поскольку эффективная площадь рассеяния в этом случае определяется только теньвым контуром объекта.

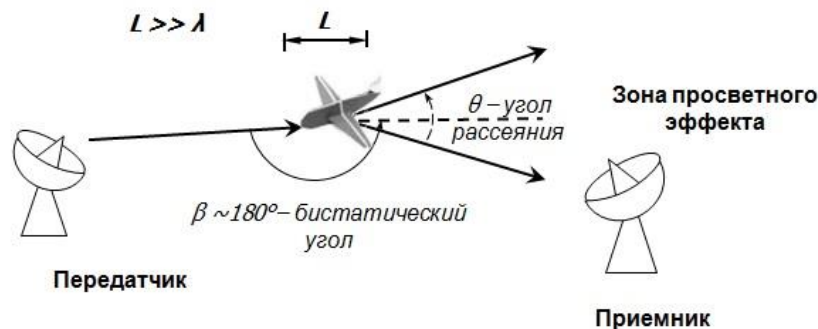


Рис. 1. Схема комплекса просветной локации.

Исходя из вышеизложенного, нами рассмотрена возможность применения новых способов радиолокации, в том числе метода «просветной» радиолокации, с использованием зондирующих сигналов различной формы для повышения дальности и надежности обнаружения воздушных и внеземных объектов (астероидов, космического мусора) [9-12] и увеличения точности измерения траекторий их полета. К этому решению нас подтолкнул также собственный опыт наблюдательной радиоастрономии.

Во время наблюдений Солнца в диапазонах 300-600 МГц на антеннах диаметром 14–15 м в РАО НИРФИ эпизодически регистрировались сигналы, похожие на запись диаграммы направленности антенны по излучению искусственных спутников Земли. Однако, на орбитах вокруг Земли нет аппаратов, работающих в данном диапазоне частот. Анализ этих явлений показал, что имеет место явление «просветного» эффекта, когда объект пролетает в области вблизи Солнца в диаграмме направленности приемной антенны. На рис. 2 показана запись сигнала от Солнца на ленте самописца в приемном пункте НИРФИ «Зимёнки» с прохождением объекта (самолета) через

диаграмму направленности антенны в течение примерно 1.5 минут. Видно, что амплитуда «просветного» сигнала составляет 25-30% от полного сигнала от Солнца, т.е. очень большую величину по радиоастрономическим меркам.

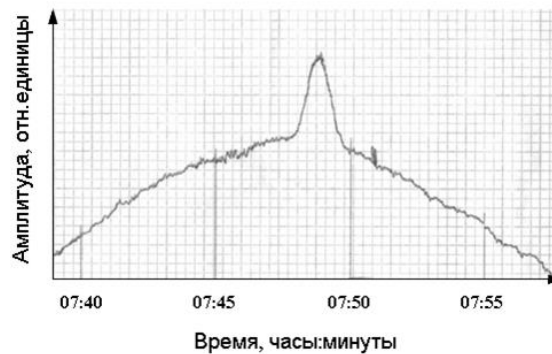


Рис. 2. Амплитуда сигнала Солнца в зависимости от времени. РТ-15, Зименки.

К этому времени нами был получен патент на радиолокационный комплекс для обнаружения и определения траекторий полетов воздушных и космических целей [9], который можно считать продолжением работ по РСДБ-локации. Он представляет собой бистатическую РЛС с разнесенными в пространстве передающей и приемной станциями, где в качестве передающей станции используются космические естественные или искусственные источники шумового сигнала, а наземная приемная станция принимает одновременно сигналы от источника излучения и отраженный от цели для дальнейшей корреляционной обработки, традиционной для РСДБ (рис. 3). Одним из недостатков «просветных» РЛС считается наличие сильного прямого сигнала передатчика, который необходимо подавить. Однако, в нашем комплексе при корреляционном РСДБ анализе прямой сигнал является полезным (опорным), что представляет одно из преимуществ предложенного решения построения РЛС.

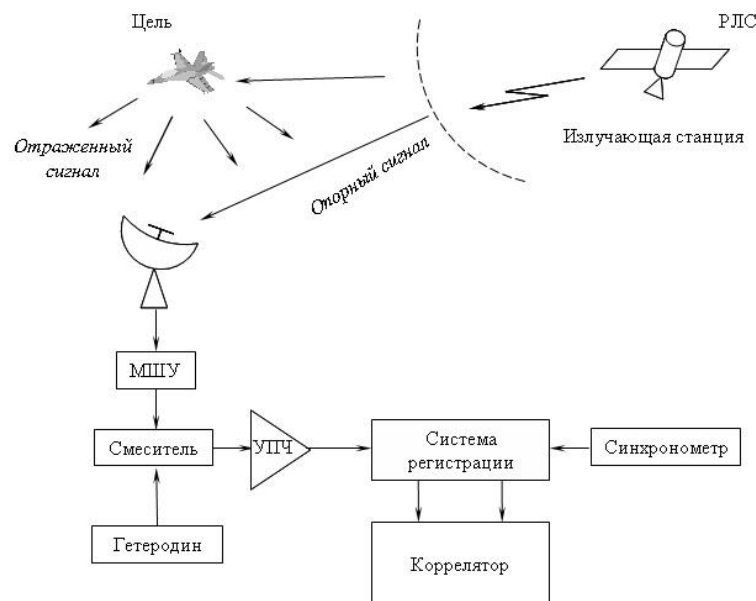


Рис. 3. Радиолокационный комплекс для обнаружения и определения траекторий полетов воздушных и космических целей.

Очевидно, что отраженный от объекта сигнал существенно меньше прямого сигнала РЛС, и для уверенного обнаружения объекта потребуется применять антенны с большой эффективной площадью, а, следовательно, с узкой ДН. В этом случае предполагается прием прямого сигнала боковыми лепестками, а главным максимумом ДН сканировать зону предполагаемого нахождения объекта; тогда соотношение уровней обоих сигналов будет более оптимальным для корреляционной обработки. Кроме того, необходимо применять алгоритм обработки с подбором параметров движения объекта при поиске максимума амплитуды корреляционной функции. Естественно, наиболее благоприятным моментом будет прохождение цели в зоне просветного эффекта, когда можно уверенно принять сигнал – обнаружить объект, и определить первоначальные параметры траектории полета для дальнейшего быстрого применения алгоритма накопления сигнала и длительного сопровождения цели.

Хорошую возможность для отработки методики применения просветного эффекта и обработки данных по алгоритму нашего патента дает наличие на околоземных орбитах искусственных спутников Земли, работающих в различных радиодиапазонах. В первую очередь это навигационные космические аппараты (НКА) ГЛОНАСС, GPS, Галилео, Бэйдоу и геостационарные аппараты.

Геостационарные спутники находятся в точке с постоянными координатами, что облегчает расчет положения зоны просвета на поверхности для тех же самолетов. Поскольку в большинстве случаев излучаемые ими сигналы имеют сложную структуру, то потребуются специальные методы обработки данных экспериментов.

НКА удобны тем, что их много, они распределены по небесной сфере равномерно и работают в одном диапазоне длин волн, излучая квазишумовой сигнал с достаточно широкой полосой, что важно для улучшения точности определения задержки. Однако, они постоянно перемещаются, что для стационарного пункта приема снижает вероятность попадания в просветную зону наблюдаемых объектов, например, самолетов, летящих в выделенных коридорах, или же необходимо использовать несколько приемных пунктов или перемещать приемную станцию.

Для подтверждения эффективности предложенного нами радиолокационного комплекса, и в том числе принципов просветной локации, были осуществлены тестовые эксперименты по приему рассеянных сигналов от самолетов при их зондировании сигналами НКА ГЛОНАСС, GPS и Галилео с применением РСДБ-процедуры обработки данных. Использовалась одиночная антенна диаметром 2 метра и приемно-регистрирующая аппаратура на L-диапазон частот РСДБ пункта «ННГУ» в Нижнем Новгороде.

Методика измерений состояла в следующем. С помощью системы слежения за самолетами в режиме реального времени FlightRadar [13] определялась траектория движения гражданских самолетов в зоне видимости приемного пункта. По известным параметрам орбиты определялся НКА, ближайший к выбранной траектории, антенна наводилась на НКА. При приближении самолета к точке наведения визуально вводилась поправка в координаты антенны так, чтобы объект попал в главный луч диаграммы направленности, при этом сигнал НКА попадал, в основном, в ближние боковые лепестки ДН.

Некоторые результаты обработки данных экспериментов приведены на рис. 4 в стандартном для РСДБ виде – в координатах «пространственная задержка – частота интерференции – амплитуда». Из-за быстрого перемещения объекта время накопления сигнала при автокорреляционной обработке было минимальным (порядка 0.25-1 с). Тем не менее, даже для небольшой по площади антенны четко видны корреляционные отклики с параметрами, близкими к расчетным, т.е. результаты эксперимента показали реализуемость предложенной идеи.

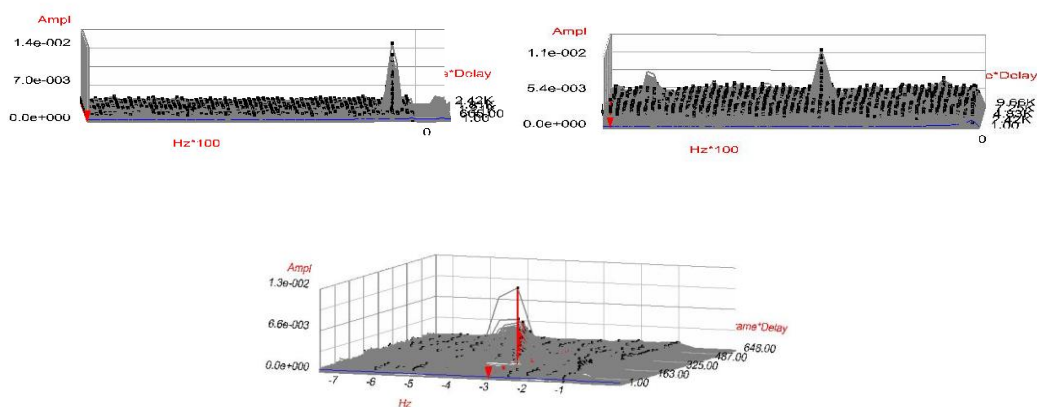


Рис. 4. Отклик приемной системы на пролет самолета через диаграмму направленности антенны. Амплитуда выходного сигнала в зависимости от частоты и задержки.

Таким образом, наличие просветного эффекта при рассеянии электромагнитного излучения на объектах независимо от их формы и материала поверхности дает возможность на порядки увеличить отраженный от цели сигнал, а значит, увеличить вероятность обнаружения воздушных объектов. Однако, существенный недостаток этого эффекта – узкая зона просветного рассеяния, создает значительные трудности для его использования (из-за чего собственно РЛС, основанные на этом принципе, были временно забыты). Тем не менее, ввиду отсутствия в настоящее время альтернативы просветным РЛС при обнаружении малозаметных объектов, необходимо проводить детальное исследование возможностей метода, в том числе для обнаружения внеземных объектов с использованием зондирующих сигналов естественных внеземных радиоисточников.

Узкая зона просветного эффекта автоматически требует размещения на поверхности Земли нескольких приемных пунктов для повышения вероятности обнаружения мощного рассеянного сигнала. Сеть пунктов может работать и в стандартном режиме РСДБ, увеличивая чувствительность и разрешающую способность инструментов.

Исследования ведутся при финансовой поддержке Минобрнауки (госзадание № 3.2722.2017/4.6).

Литература

1. Blyakhman A. B., Runova I. A. Bistatic radar cross section and the detection of objects from their forward scatter. *Radio engineering and electronics*, 2001, 46(4), 424–432.
2. Радиолокационный комплекс "Барьер-Е". http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/rlk_barrier-e.html (August, 20, 2017).
3. Ф. Н. Ковалев, В. П. Хранилов. Идентификация модели просветного радара на разных этапах технического проектирования радиолокационной системы. // *Электронный журнал Cloud of Science*. 2014. Т. 1. № 3. <http://cloudofscience.ru>.
4. В.В. Кирюшкин, Д.А. Черепанов. Бистатическая локация воздушных целей сигналами спутниковых радионавигационных систем. // *Вестник воронежского государственного технического университета*. Издательство: Воронежский

государственный технический университет (Воронеж). ISSN: 1729-6501. Т. 6, №11, 2010. С.33-38.

5. Glaser J. Bistatic RCS of Complex Objects Near Forward Scatter, IEEE Transactions on aerospace and electronic systems. Vol. AES-21, №1, January, 1985. - p.70-78

6. Черняк В.С. Многозвенная радиолокация. - М.: Радио и связь, 1993, 416с.

7. Уфимцев П.Я. // Радиотехника и электроника, 1989, т.35, №12. - с.2519-2527.

8. Справочник по радиолокации. Перевод с английского под ред. М. Сколника. Т.4. - М.: Советское радио, 1979.

9. «Радиолокационный комплекс», Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Дугин Н.А., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В. Патент на изобретение № 2422849 (RU 2 422 849 C1) от 27.07.2011 (заявка № 2010106988, приоритет 24.02.2010). опубл. 27.06.2011, Бюлл. №18. — 13 с. : ил.

10. «Радиолокационный комплекс для обнаружения астероидов». Дугин Н.А., Бляхман А.Б., Патент на изобретение № 2422849 (RU 2 625 542 C1) от 14.07.2017, Бюл. №20, (заявка № 2016362555, приоритет 08.09.2016), опубл. 14.07.2017, Бюлл. № 20 : ил.

11. Н.А. Дугин, М.Б. Нечаева, А.А. Антипенко, Ю.В. Тихомиров, А.К. Чагунин. Исследование возможностей применения метода просветной радиолокации для обнаружения объектов в ближнем космосе. X Международная конференция «Околосемная астрономия - 2017»: Тезисы докладов, г.Краснодар: ФГБУН ИНАСАН, КубГУ, 2–6 октября 2017 г. С.48.

12. M.Nechaeva, N.Dugin. Method of forward scatter radar in the task of near-Earth asteroids detecting. BAASP 2017–5th International Scientific Conference "Baltic Applied Astroinformatics and Space data Processing". 23 – 24 August, 2017, Ventspils, Latvia. Abst.P.29.

13. <https://www.flightradar24.com/>. Дата обращения 13 марта 2018 г.