

Рассмотрение принципа взаимности при развитии метода бистатической радиолокации для исследования земной поверхности

А.А.Калинкевич¹, В.М.Масюк¹, В.А.Плющев², И.Ю.Рыжов²

¹Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН, 103907, Москва, ул. Моховая, 11, корп.7, тел.: +7(495) 629-33-65, Факс: +7(495) 629-36-78, E-mail: kalinkevich@newmail.ru

²ОАО Концерн радиостроения "Вега" 121170, Москва, Кутузовский проспект, 34

При развитии бистатической радиолокации земной поверхности на основе параллельной регистрации данных встает вопрос о справедливости принципа взаимности. В природе существуют среды, в которых свойства распространяющей электромагнитной волны не зависят от направления ее распространения. В этом случае перестановка передатчика и приемника местами ничего не меняет. Для элементарных вибраторов и сверхширокополосных импульсов при условии $c\tau < L$ (τ - длительность импульса, L - размер антенны) нет причин, чтобы он нарушался. Если объект сложный, например, поверхность Земли с растительностью, различными объектами на ней проблема остается открытой. Материалы доклада посвящены постановке решения этой проблемы.

With the development of bistatic radiolocation of the earth's surface based on parallel registration data the question of the validity of the principle of reciprocity raises. In nature there are environments in which the properties of propagating electromagnetic waves do not depend on its propagation direction. In this case, the permutation of transmitter and receiver does not change anything. For elementary vibrators and ultra-wideband pulses when the condition $c\tau < L$ (τ - pulse width, L - the size of the antenna) is met there is no reason to have it violated. If the object is complex, for example, the surface of the Earth with vegetation, various objects on it, the problem remains open. The report is devoted to the formulation of the solution of this problem.

Введение

В настоящее время как за рубежом, так и в нашей стране проводятся обширные исследовательские работы по развитию и совершенствованию новых средств радиолокационных систем для различного использования. Число направлений для повышения эффективности использования радиолокационных средств очень широко. Выделить наиболее перспективное направление практически невозможно, так как при этом приходится учитывать технические (зачастую противоречивые требования), физические проблемы по распространению и рассеянию радиоволн огромным количеством разнообразных объектов, уникальные предложения по созданию новых типов радиолокационных систем, располагаемых на земной поверхности и различных типах летательных аппаратах. В основном рассмотрение ведется для решения задач по обнаружению и определения типа движущих объектов в воздушном пространстве, включая низколетящие объекты с ничтожно малыми эффективными поверхностями рассеяния, объектов, движущих по земной поверхности, а также подповерхностных и подводных объектов. При этом каждая задача требует нового математического подхода. Обзоров по указанным выше проблемам также достаточно, в качестве примеров можно привести [1-3].

Вопросы проектирования и оценки эффективности современных систем радиолокации практически невозможно решить без априорного знания характеристик рассеяния объектов локации [4-7] мерой объекта рассеивать электромагнитную волну является эффективная площадь рассеяния (ЭПР). ЭПР объекта зависит от его формы, размеров, материала, из которого он изготовлен, от его ориентации по отношению к антеннам передающей и приемной, от длины волны зондирующего радиосигнала. ЭПР определяется при условиях дальней зоны рассеивания, приемной и передающей антенн радиолокатора. ЭПР зависит от направления от рассеивателя на источник зондирующего радиосигнала и направления в точку наблюдения. Поскольку эти направления могут не совпадать (в общем случае

источник зондирующего сигнала и точка регистрации рассеянного поля разнесены в пространстве), то определенная таким образом ЭПР называется *бистатической ЭПР* [8]. *Однопозиционная ЭПР (RCS)*— значение ЭПР при совпадении направлений от рассеивателя на источник зондирующего сигнала и на точку наблюдения. Под ЭПР часто подразумевают ее частный случай — моностатическую ЭПР, то есть ДОР (часто смешивают понятия ЭПР и ДОР). Тем не менее, следует различать ЭПР $(\theta, \varphi; \theta_0, \varphi_0)$ и ДОР $(\theta, \varphi) = \text{ЭПР}(\theta, \varphi; \theta_0=\theta, \varphi_0=\varphi)$, где θ, φ — направление на точку регистрации рассеянного поля; θ_0, φ_0 — направление на источник зондирующей волны ($\theta, \varphi, \theta_0, \varphi_0$ — углы сферической системы координат, начало которой совмещено с рассеивателем).

1. Вопросы измерения ЭПР и ДОР объекта

ЭПР проводится на полигонах и в радиочастотных безэховых камерах с использованием реальных объектов и их масштабных моделей [8]. Авторы в настоящее время не обладают информацией о натуральных экспериментальных измерениях бистатической ЭПР каких-либо объектов. Отметим, что для пространственно-распределенных земных объектов введено понятие – зависимость ЭПР от угла визирования, однако оно относится к моностатическим измерениям.

Для измерения моностатической ЭПР, как правило, требуется разрабатывать специальные поворотные устройства. Но даже для измерения моностатической радиолокации с учетом флуктуации фазы и амплитуды отраженного сигнала и их зависимости от ракурса взаимного положения цели и измерительной установки, изучения вибрации изучаемых объектов, а также в случаях натуральных объектов (самолета, танка) стенды получаются крайне сложными [7], и проведение измерений ДОР представляет трудоемкую, сложную процедуру. Стенды для измерения ЭПР объектов еще больше усложняются (Рис.3). Поэтому предпочтение отдается теоретическим исследованиям. Определить ЭПР сложной (реальной) цели можно путем создания феноменологической модели отражений от сложной цели (модель цели) и с их помощью найти статистические характеристики отраженного сигнала. Наиболее распространены феноменологическая модель отражения. В одной из них цель представляется в виде совокупности точечных элементов (см. рис.1), среди которых либо нет преобладающего отражателя, либо имеется один преобладающий отражатель, который дает стабильный отраженный сигнал, что соответствует картине отражения с эффектом "блестящей точки. При второй модели теоретические исследования, основываются на строгом решении задачи дифракции электромагнитных волн" Рис.2. (из [7]). Метод, основанный на аппроксимации поверхности объекта элементарными участками (например, треугольными или квадратными пластинами), так называемая *фацетная модель*. Для первого случая в простейшем случае подход основывается на том, что измеряется ДОР при фиксированном положении радиолокационной станции и повороте объекта вокруг азимутального направления. Зная базу данных таких измерений для разных объектов, можно делать выводы о типе объекта по измерениям только с одного направления. При таком подходе применяется стандартная однопозиционная РЛС.

Другим направлением решения проблемы разработки эффективных способов информативности радиолокационных систем является способ многопозиционной радиолокации [3,10-12]. Способ основан на излучении и приеме сигналов системой разнесенных в пространстве пунктов, передаче принятых сигналов на пункт обработки и в совместной их обработке. Бистатическая радиолокация является наипростейшим случаем многопозиционной, позволяющей значительно расширить информационные возможности радиолокационных комплексов (Рис.3).

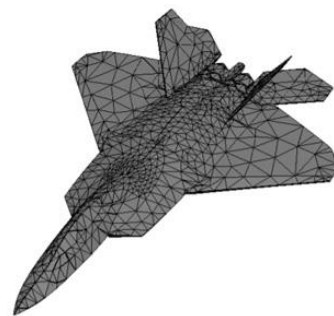
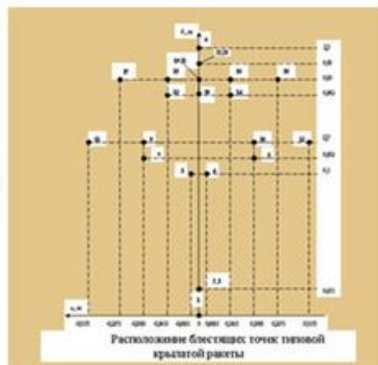


Рис.1. Полигональная геометрическая модель ракеты из [9]

Рис.2. Схема для строго решения задачи дифракции[9]

Полигональная модель истребителя F-22

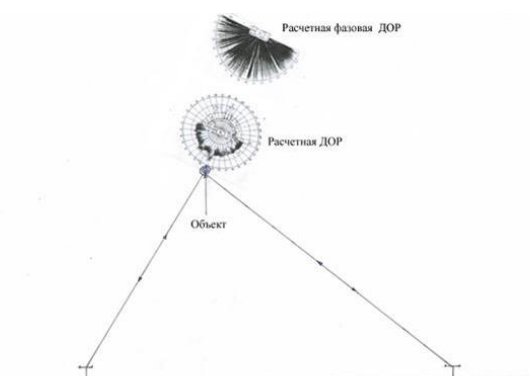


Рис.3. Ситуация при использовании бистатической радиолокации

Основной принцип измерения ЭПР на стенде представлен на Рис.4

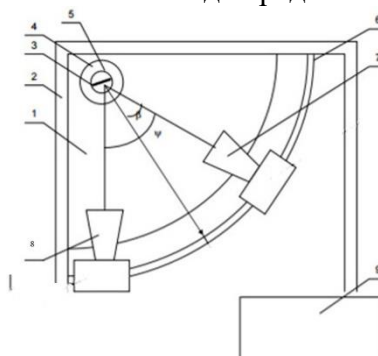


Рис.4. Основные элементы схемы измерительного стенда для измерения ЭПР объекта в ММ области

1-рабочая зона, 2- поглощающее покрытие безэховой зоны, 3- плоский образец, 4- поворотное устройство, 5-подъемное устройство, 6-направляющая, 7-8 приемная, передающая антенны 9-пункт регистрации и обработки информации

Информация измерения ЭПР объектов в натуральных условиях авторам неизвестна

С большими оговорками можно говорить о трех внедряемых направлениях бистатической радиолокации. За исключением бистатических РСА они основываются на активно-пассивном методе, т.е. одна РЛС работает в активном режиме (на излучение или на излучение-прием) другая в пассивном - только на прием.

Известны многопозиционные, в частности, бистатические радиолокационные станции (РЛС), реализующие метод радиолокации "на просвет", основанный на просветном эффекте

[13]. Суть эффекта заключается 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. Этот эффект обусловлен интерференцией полей электрического и магнитного дипольных моментов. Таким образом, эффективная площадь рассеяния (ЭПР) объекта при наблюдении в бистатическом радиолокаторе "на просвет" в тысячи раз превосходит ЭПР объекта для традиционного моностатического радиолокатора, что является одним из важнейших преимуществ "просветных" РЛС. Другим важнейшим преимуществом "просветных" РЛС является независимость ЭПР переднего рассеяния от материала, из которого изготовлен объект, и, в частности, от наличия на нем Стелс-покрытия. Поэтому в зоне существования просветного эффекта бистатическая РЛС имеет более высокие характеристики обнаружения малозаметных объектов (крылатых ракет, самолетов-Стелс, маловысотных самолетов и вертолетов, дельтапланов, шаров и т.д.), чем традиционная моностатическая РЛС.

Другое направление основано на излучении и приеме сигналов (амплитуд и доплеровских частот) системами РЛС, разнесенных в пространстве и совместной обработкой их для получения информации о скорости и дальности до цели.

Отдельно следует выделить бистатические радиолокационные системы, размещаемые на летательных аппаратах, включая бистатические РСА (БИРСА) [14-16].

Направленность данных работ в основном связана с обнаружением движущихся целей (самолетов, крылатых ракет, объектов типа Стелс).

2. Вариант бистатической системы для исследования Земной поверхности

Для радиолокации, предназначенной для обзора Земной поверхности, характерным является как обнаружение отдельных целей, так и построение карт отражательной способности с некоторой разрешающей способностью. Однако для моделирования рассеяния от разнообразных естественных поверхностей ни одна из указанных выше моделей не подходит. Как правило, в первом приближении приходится использовать модели поверхности в виде независимых точек отражения, имеющих различные коэффициенты отражения. В [17] делается попытка создания двухпозиционной РЛС для обзора выбранного участка подстилающей поверхности как с неподвижных носителей, включая возможность размещения их на малогабаритных аэростатах. При этом рассматривается развитие бистатической радиолокационной системы, функционирующей как в активно-пассивном, так и в активно-активном режимах. Пусть в точках O_1 и O_2 (рис.5а) расположены две радиолокационные станции работающие в импульсном режиме с длительностью импульса τ и имеющие относительно широкие диаграммы направленности (ДНА). Одна из РЛС работает в режиме передача- прием, другая только на прием. Режим работы приемно-передающих станций чередуется. При излучении импульсного сигнала по поверхности будет распространяться «кольцо» с площадью S_1 от приемно-передающей станции, расположенной в т. O_1 , отражение от которого определяет в принимаемый сигнал U_1 . Сигнал V_1 , который будет принимать РЛС, расположенная в т. O_2 , соответствует другой площади поверхности S_2 , это эллипсоидальное кольцо (см рис.5 б,в). Сигналы от различных участков площадей S_1 , S_2 случайны и независимы между собой, за исключением общей части. При рассмотрении построении такого типа радиолокации встанут два принципиальных вопроса: Как выполнить моделирование отражение от суммы различных типов земной поверхности, которые соответствуют поверхностям S_1 , S_2 ?; а также Можно ли выделить сигнал, соответствующий общей части их пересечения ? В случае, когда роль станций меняется, для подобной временной ситуации эллипсоидальное кольцо остается тем же самым и при выполнении принципа взаимности $V_1 = U_2$.

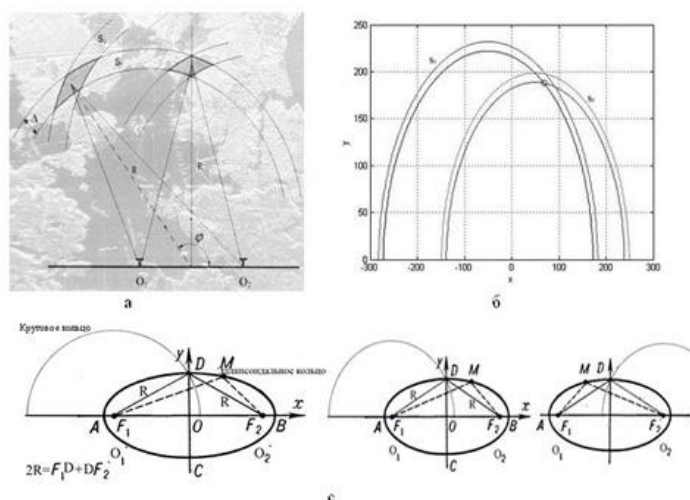


Рис.5 Формирование сигналов для двух РЛС при бистатической радиолокации

- а)** пересечение импульсов излучения происходит в области **S**,
- б)** с учетом временных задержек излучения и приема импульсов в двух РЛС можно осуществить сканирование по пространству,
- в)** при смене режимов работы этих станций 1) $U_1 \neq U_2$, 2) $V_1 \neq V_2$, но 3) $V_1 = U_2$

Если случаи 1) и 2) очевидны, то случай 3) зависит от справедливости принципа взаимности [18] для сложной цели.

3. Принцип взаимности

Согласно принципу взаимности, существуют среды, в которых распространяются электромагнитные волны, что их свойства не зависят от направления распространения волны. Такие цепи и среды называются Взаимными. Существуют цепи и среды, свойства которых зависят от направления распространения волны или направления протекания тока. Такие цепи и среды называются Невзаимными. В соответствии с этим встает вопрос: Широкополосный сигнал, распространяющийся от антенны **O1-сложный объект-до антенны O2** будет эквивалентен сигналу, распространяющийся от антенны **O2-сложный объект-до антенны O1** ? (Рис.6) (под сложным объектом мы подразумеваем земную поверхность с растительностью, постройками и различными объектами и т.д.)

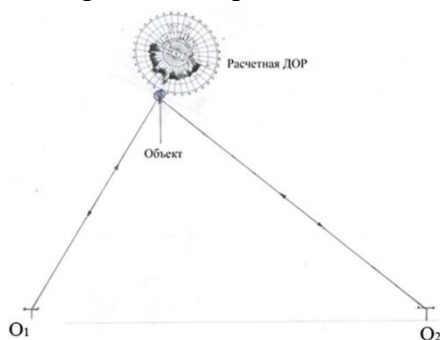


Рис.6. К вопросу справедливости принципа взаимности

Вопрос по мнению специалистов слишком серьезный и их мнения по данному вопросу расходятся, несмотря на то, что в ряде работ [19,23-25] доказывается (за исключением некоторых случаев [19]), что принцип взаимности должен выполняться. Специалистов смущает **сложность объекта**.

Для ряда специалистов он кажется очевидным - принцип взаимности не справедлив. В работе [19] Рассматривается случай, когда в теории антенн при использовании широкополосных сигналов принцип взаимности может нарушаться в основном из-за нелинейности антенных трактов.

Мнение других специалистов, что при такой трассе распространения электромагнитных волн при отсутствии нелинейности при отражении от объекта (элементарных вибраторов), нет причин, чтобы он нарушался.

Наконец в третьей группе специалистов мнение сводится к тому, что данный вопрос требует серьезной дальнейшей проработки.

Ниже приводятся несколько простых примеров, при которых принцип взаимности соблюдается.

Как было показано выше, часто цель представляется в виде совокупности точечных элементов. При рассмотрении в качестве точечных элементов был взят металлический шар и диэлектрический тонкий цилиндр.

Точные расчеты рассеяния для металлического шара были выполнены с помощью программ Microwave Studio и сравнивались с теоретическими [20], при этом уделялось внимание появлению «эффекта на просвет» [13]. На рис.7 приводятся некоторые результаты численных расчетов.

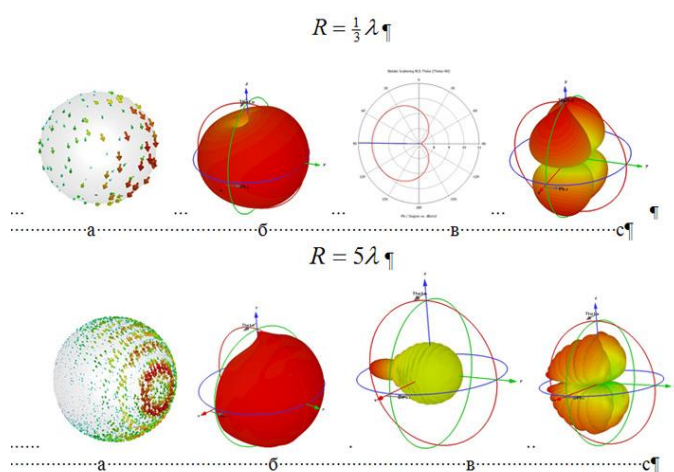


Рис.7. Расчеты рассеяния плоской электромагнитной волны поляризованной по оси z и распространяющейся по оси $-x$ с $\lambda = 5,7\text{см}$ на сфере $R = \frac{1}{3}\lambda$ и $R = 5\lambda$
а – распределение токов на поверхности сфер, **б,в** – ЭПР на той же поляризации, **с** – ЭПР на кросс-поляризации (величина ЭПР на кросс-поляризации на несколько порядков меньше, чем на основной, т.е. можно считать, что поляризация не меняется).

Если представить цель (см.Рис.1) или поверхность в виде одиночной точечной цели в виде шара различного размера то принцип взаимности соблюдается. Однако при отражении от цели в реальности появляется кросс-поляризационная составляющая, т.е. представлять точечные элементы в виде сферических тел не соответствует реальности.

Можно представить точечную цель в виде тонкого диэлектрического стержня длиной l и радиусом a , несимметрично расположенного относительно антенн (рис. 8).

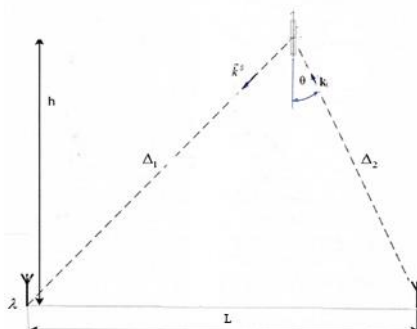


Рис. 8. Геометрия задачи

Для вычисления величины рассеяния от тонкого длинного цилиндра длиной l и радиусом a использовалось приближение Релея-Ганса [21, 22]:

$$S = -\frac{k_0^2 l}{4\pi} \left\{ \vec{k}^S \times \vec{k}^S \times [\hat{P} \cdot \hat{a}] \right\} \frac{\sin U}{U}$$

$$U = \frac{k_0 l}{2} (\vec{k}^S \cdot \hat{z} + \cos \theta).$$

где k_0 – волновое число падающего поля,

\vec{k}^S - единичный вектор в направлении рассеянного поля,

$$\hat{P} = \begin{bmatrix} P_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & P_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & P_{zz} \end{bmatrix} \quad - \quad \text{тензор поляризации диэлектрического цилиндра} \quad ($$

$$P_{xx} = P_{yy} = 2A \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}, \quad P_{zz} = A(\varepsilon - 1), \quad A = \pi a^2,$$

- вектор падающего электрического поля.

Данное приближение справедливо при $k_0 a \ll 1$ и $l/a > 20\sqrt{|\varepsilon_r|}$. Расчеты показали, что принцип взаимности справедлив для разных поляризаций.

3. Предварительное моделирование принципа взаимности

При моделировании использовалась следующая схема Рис.9.

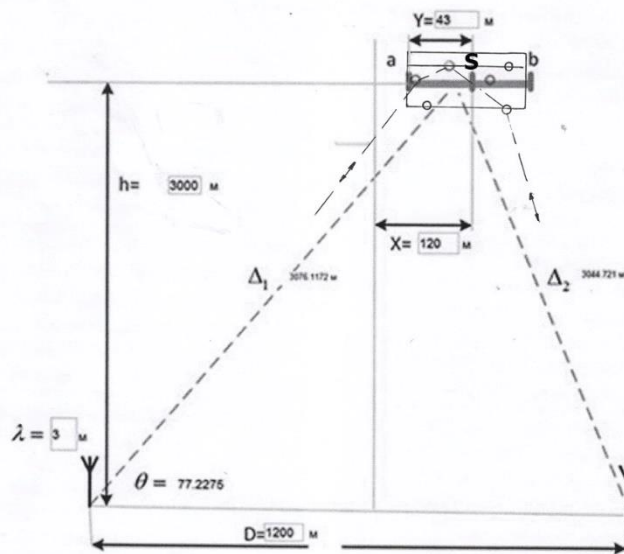


Рис.9. Схема для проведения предварительного моделирования принципа взаимности

В случае, когда на отрезке **ав** случайным образом располагаются несколько N элементарных невзаимодействующих отражателей (для металлических сфер моделирование проводилось до $N=20$, для диэлектрических стержней до $N=4$), рассмотрение показало, что принцип взаимности выполняется, что согласуется с выводами [23-25]. На следующем этапе на элементе поверхности **S** случайным образом помещались 400 элементарных отражателей и проводилась серия подобных численных экспериментов ($\square 80$). Результаты показали, что с точностью машинных знаков коэффициент корреляции равнялся единицы. Таким образом, если объект исследования распространить феноменологическую модель отражения, т.е представляется цель в виде совокупности независимых точечных элементов (см. рис.1). (феноменологическая модель также часто используется для моделирования земной поверхности) можно говорить о **справедливости**

принципа взаимности. Были также рассмотрены несколько частных случаев, когда между отдельными элементарными отражателями наблюдается переотражения (в качестве элементарных элементов отражения использовались металлические шары). Результаты вычисления были аналогичные. К настоящему времени оценить принцип взаимности для модели, состоящей из случайно расположенных по пространству и по ориентации диэлектрических цилиндров) не удалось.

Несмотря на то, что рассмотрение простейших случаев по оценке справедливости принципа взаимности показывают неплохие результаты, ситуация значительно сложнее. Это касается не только сложных объектов, принцип взаимности для которых еще можно как-то попытаться промоделировать, а в первую очередь природных, модель которых в общем случае не поддается описанию из-за случайности шероховатости ее поверхности, всевозможных переотражений и т.д.

Как отмечалось выше авторам неизвестны как теоретические расчеты каких-либо объектов на предмет принципа взаимности, так и экспериментальные работы по данной тематике.

Заключение

Рассмотрение показало, что для суммы нескольких невзаимодействующих объектов рассеяния принцип взаимности справедлив. Но в действительности вопрос более серьезный. Это можно судить даже по тому, что за рубежом начинают проводиться workshop(ы), касающихся успехов, проблем и дальнейшего развития бистатической радиолокации.

Возможно некоторые участники нашей конференции получили предложения участвовать в работе Workshop? Может быть кто-то даже участвовал.

Please apologize if receiving multiple copies. In the tradition of the bi-annual PCL Focus Days you are invited to submit a contribution. The intention of this two days event is bringing together armed forces, research institutes, and industries who work in the area of bistatic and passive radar systems to share their experience and discuss new approaches for future systems.

You are cordially invited to submit a short abstract outlining your contribution prior to 31 December 2016. The final presentation will be due 30 April 2017 to be included in the proceeding CD-ROM. For further information on the PCL Focus Days please visit our website <http://workshops.fhr.fraunhofer.de/pclfocusdays>

Литература

1. «Бортовые радиолокационные станции военной авиации зарубежных стран Аналитический обзор по материалам открытой печати» под ред. В.С.Вербы, С.В. Ягольниковца 2 ЦНИИ МО РФ 2005, 310 стр.

2. Чапурский В.В. Мультипликативная обработка сигналов с подавлением отражений от местных предметов в задачах сверхширокополосной ММО-локации, Успехи современной радиоэлектроники, 1-2, 2009, стр. 114-122

3. Черняк. В.С. О новых и старых идеях в радиолокации: ММО РЛС. Успехи современной радиоэлектроники 2, 2011, стр. 5-20.

4. Бункин Б.В, Реутов А.П. «Направления развития радиолокационных систем. Вопросы перспективной радиолокации» Коллективная монография» под ред. А.В.Соколова, М.Радиотехника. 003. С.12-19

5. Борзов А.Б., Быстров Р.П., Дмитриев В.Г., Засовин, Э.А. Потапов А.А., Соколов А.В., Чусов И.И. , Научно-технические достижения и проблемы развития техники миллиметрового диапазона радиоволн» Зарубежная радиоэлектроника, 2001. №4. С.8-80

6. Кулагин В.В, Соколов А.В. Черепенин В.А «Моноимпульсная радиолокация объектов с использованием мощных импульсов наносекундной длительностью. Вопросы перспективно радиолокации» Коллективная монография» под ред. А.В.Соколова М. Радиотехника. С. 188-205

7. Борзов А.Б., Быстров Р.П., Засовин Э.А., Лихоеденко К.П., Муратов И.В., Павлов ГЛ Соколов АВ, Сучков В.Б. Миллиметровая радиолокация. Методы обнаружения и наведения в условиях естественных и организованных+помех М. Радиотехника 2003. С.374
8. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Я .Д. Ширмана, М.: Сов. Радио, 1970, С.560
9. В.А.Гульшин, Расчет характеристик рассеяния сложной радиолокационной цели методом простейших компонент, Труды шестой Всероссийской научно-практической конф. (из работы [7]).
10. Разевиг В.В., Бугаев А.С., Чапурский В.В. Сравнительный анализ фокусировки классических и мультистатических радиолограмм. Радиотехника, вып. 8, 2013. С. 8–17.
11. Чапурский В.В. Анализ сечений функции неопределенности голографических РЛС планового обзора. // Доклады 10-й всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь», Москва, ИРЭ РАН. 21-23 ноября 2016 г.
12. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Маркв Л.Н. и др. и др. Многопозиционные радиотехнические системы, Под ред. проф. В.В. Цветнова. - М.: Радио и связь, 1986, с. 252-253),
13. Черняк В.С. Многозвенная радиолокация. - М.: Радио и связь, 1993, - 416 с.
14. Крючков И.В., Слукин Г.П., Чапурский В.В. Анализ потенциала и разрешающей способности бортовых РЛС типа ММО с синтезированием апертуры // XI Всероссийская Научно-техническая конференция «Радиооптические технологии в приборостроении», 20-25 августа 2015 г. П. Небуг, Туапсинский район, Россия. С. 134-146.
15. Yates G., et al, Bistatic SAR image formation // Proceedings of EUSAR 2004, Ulm, Germany
16. Титов М.П. Виды обзора бистатических РСА, Материалы VII Всероссийской научной конференции, Муром, 31.05.-2.06.2016, С.443-447
17. Калинин А.А., Крылова М.С., Масюк В.М., Мананов В.Ю., «О новом подходе построения бистатической радиолокации, предназначенной для обзора Земной поверхности с неподвижных носителей» VIII Всероссийскую конференцию «Радиолокация и радиосвязь» (Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, 24-26 ноября 2014, стр.169-173
18. www.femto.com.ua/articles/part_1/0462.html
19. Зайцев А.В., Иммореев И.Я., Границы применения принципа взаимности в теории антенн при излучении и приеме сверхширокополосных сигналов, Международная конференция "Сверхширокополосные и ультракороткие импульсные сигналы" (UWBUSIS'04), 19 - 22 сентября, Севастополь, Украина uwbgroup.ru/index.php?...view=article&id...2010-01-08...
20. Джексон Дж. Классическая электродинамика. Перевод с английского Г. В. Воскресенского и Л. С. Соловьева. Под редакцией Э. Л. Бурштейна. Изд "Мир" Москва 1965. - 703 с.
21. K. Sarabandi, T. Senior, "Low-Frequency Scattering From Cylindrical Structures at Oblique Incidence", *IEEE Transactions on GRS*, vol. 28, No. 5, September 1990, pp. 879-885.
22. J. Stiles, K. Sarabandi, "A Scattering Model for Thin Dielectric Cylinders of Arbitrary Cross Section and Electrical Length", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 44, No. 2, February 1996, pp. 260-266.
23. Фельд Я.Н. Теорема взаимности в электродинамике для неустановившихся процессов Док.Акад.Наук СССР, 1943, Том 41, №7, с.294-297
24. В. Ru-Shao Cheo, A Reciprocity Theorem for Electromagnetic Field with General Time Dependence? *IRE Trans. On Antennas and Propagation?* March 1965 < pp.278-284
25. Фельд Я.Р. Теоремы и задачи нестационарных процессов электродинамики, Радиотехника и электроника 1993, №1, с.38-48.