

Виды обзора бистатических РСА

М.П.Титов

ЗАО «Аэрокон», ул. Жуковского, 1, г. Жуковский, Московская обл., 140187, E-mail: titovmp@mail.ru

В работе приведены основные отличия многопозиционных радиолокаторов с синтезированием апертуры (РСА) обзора земной поверхности авиационного и космического базирования от таковых в моностатической конфигурации. Далее, без нарушения общности, рассмотрен вариант бистатической РСА (БиРСА), как частный случай многопозиционной конфигурации. Показаны основные положительные качества таких радиолокационных станций (РЛС). Описаны основные проблемы, возникающие при работе БиРСА: пространственная, временная и фазовая синхронизации, а также синхронизация временных диаграмм обеих частей БиРСА. Рассмотренный в докладе вопрос касается в первую очередь пространственной синхронизации и синхронизации временных диаграмм. Предложены варианты реализации возможных видов обзора БиРСА и затронуты некоторые вопросы возможных способов обработки принимаемых голограмм. В работе также приведены результаты практической реализации (эксперимента) бистатического синтезирования апертуры при обзоре земной поверхности БиРСА воздушного базирования.

The basic differences between multiposition and monostatic SAR based on aircraft or on space ship are given in this article. A special case of multiposition configuration known as bistatic SAR (BiSAR) is examined further. The basic positive features of such RADARs are shown. The basic problems, which appear with the work of BiSAR, are described: position, time and phase synchronization, and also the synchronization of timetables of both BiSAR parts. The question examined in the article concerns first of all position synchronization and synchronization of timetables. In the article the versions of the realization of the possible forms of BiSAR survey are proposed and are touched upon some questions of the possible methods of working the holograms adopted. The results of the experiment of the bistatic synthesizing of aperture with the survey of the earth's surface of BiSAR the air basing are also given.

Известные положительные качества цифровых РСА (ЦРСА) [1] не всегда могут быть использованы в полной мере. Так, формирование радиолокационных изображений (РЛИ) с высоким разрешением непосредственно по направлению полета в традиционной ЦРСА затруднено. Такой вариант часто представляется важным, в том числе и для самолетов военного назначения [1, 2]. Он вполне возможен в многопозиционных ЦРСА [3–6]. Их особенностью является то, что передающая и приемная части (позиции) РЛС разнесены в пространстве, т.е. находятся на разных носителях. Самолеты (или космические аппараты), несущие передатчики, в этом случае называются активными частями РСА, а несущие приемники – пассивными (рис.1). Активные производят подсвет земной поверхности, а пассивные – принимают отраженные от объекта сигналы, обрабатывают их в режиме синтезирования апертуры и получают РЛИ, используемые для решения поставленных задач. Частным случаем многопозиционной системы является случай, когда носителей РЛС всего два: один активный (подсвечивающий), а другой – пассивный (принимающий). Такая система называется бистатической (БиРСА). Для упрощения в дальнейшем, без нарушения общности, будем рассматривать именно такой случай (рис. 2). Угол α называется бистатическим углом, предельное значение которого может достигать 120° . Угол $\alpha_{\text{п}}$ – угол между направлением на цель и вектором скорости пассивного самолета может быть любым, в пределах которого антенна может следить своей диаграммой

направленности (ДН) за объектом съемки. Синтезирование в случае $\square_{\text{п}}=0$ будет осуществляться за счет движения активного самолета.

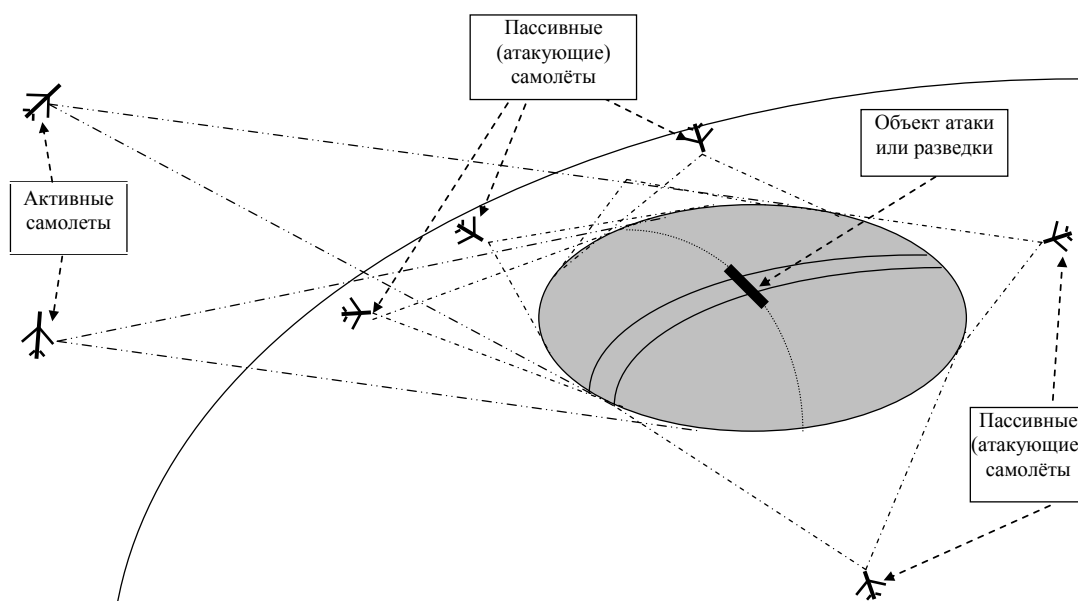


Рис. 1. Схема многопозиционного обзора земной поверхности

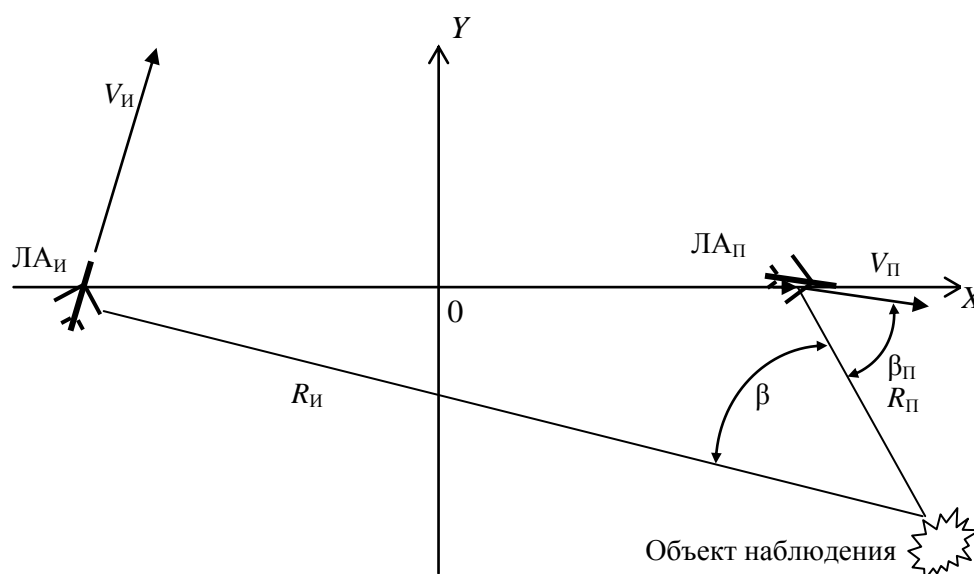


Рис.2. Схема бистатического синтезирования апертуры антенны

Такая конфигурация использования РЛС обеспечивает следующие преимущества БиРСА перед моностатическими РСА [1, 3–6]:

- возможность получения высококачественного РЛИ прямо по направлению полета;
- повышение скрытности работы;
- повышение помехозащищенности приемной стороны, так как станции активных помех (САП) производят помеховые излучения, как правило, в направлении прихода зондирующих сигналов, т.е. в направлении активной части РСА; при достаточно больших бистатических углах пассивная РСА принимает помеху по боковым лепесткам, т.е. сильно ослабленной;

– повышение вероятности обнаружения объектов, изготовленных по технологии «стелс» за счет того, что эта технология рассчитана на минимизацию переизлучения радиоволн в сторону облучения (в сторону передатчика), и, следовательно, имеет повышенные переотражения в других направлениях (в нашем случае в направлении приема).

Ввиду перспективности данного вида РСА в последнее время проблеме исследования БиРСА посвящено много работ [3–12].

Перечисленные выше преимущества БиРСА перед моностатическими обусловлены специфической конфигурацией РСА – разнесением в пространстве приемной и передающей систем. Однако разнесение передающей и приемной частей РЛС на разные носители приводит и к новым проблемам, отсутствовавшим в моностатических РЛС – это вопросы синхронизации взаимодействия активной и пассивной сторон. В моностатических БРЛС все составные части располагаются вместе, синхронизируются от одного опорного генератора и управляются одной бортовой ЭВМ по единой циклограмме. Для нормального функционирования БиРСА также требуются обеспечить функционирование обеих разнесенных составных частей как единого устройства, т.е. обеспечить три вида синхронизации: пространственную, фазовую и временную:

– передающая и приемная диаграммы направленности антенн (ДНА) должны быть направлены на объект наблюдения (пространственная синхронизация);

– на приемной позиции должны быть точно известны моменты времени излучения сигнала на всем интервале накопления (временная синхронизация);

– относительный уход частоты задающих гетеродинов приемной и передающей позиций не должен превышать допустимого значения (фазовая синхронизация).

Отметим, что все эти требования равнозначны с точки зрения их необходимости, но существенно различаются по степени возможности их технической реализации.

К настоящему времени широко используются следующие хорошо известные виды обзора земной поверхности: телескопический, полосовой и секторный. Все эти виды обзора применяются как в космических, так и в авиационных РСА. В бистатических РСА, как уже отмечалось, приемная и передающая части находятся на различных платформах. Это означает, что в наличии имеются две антенные системы, каждая из которой может осуществлять «свой» вид обзора, т.е., например, передающая антенна выполняет секторный обзор, а приемная – телескопический. Главное при этом, чтобы следы ДН обеих антенн «смотрели» в заданном направлении. Основная задача, которая должна быть при этом решена, – это достаточное время когерентного накопления для обеспечения требуемого разрешения по азимуту. Обычно для БиРСА передающая антенна находится достаточно далеко от облучаемого объекта (независимо от того, какого базирования эта антенна: космического или авиационного), а приемная находится относительно недалеко, так, чтобы суммарное расстояние от передатчика до приемника не превышало расстояния, обеспеченного энергетикой РСА. При выборе видов обзора многое зависит от задач, стоящих перед БиРСА. К ним можно отнести задачи разведки (во всех смыслах этого слова), объектового наблюдения и т.д. и задачи атаки (при применении в военных целях). Из этого видно, что задача выбора вида обзора находится в области решения пространственной синхронизации. Наиболее просто этот вопрос решается при наблюдении за заранее определенными объектами. Обе части РСА при этом реализуют телескопический вид обзора. Район обзора в этом случае заранее оговаривается, его координаты заносятся в навигационную систему до начала обзора и обе части БиРСА выполняют обзор одного и того же участка местности. Пятно подсвета активной РСА может составлять по азимуту около 10 км, а по дальности – несколько десятков км. Это факт можно использовать для обеспечения

как пространственной, так и временной синхронизаций. Для этого необходимо держать приемник на пассивной части РСА постоянно открытым и адаптивными методами находить отраженный сигнал. Все зависит от конкретных параметров расположения частей БиРСА. В 2005 г. в России был проведен эксперимент по бистатическому синтезированию именно по такой схеме. На рис.3 приведены дешифрованные РЛИ, полученные в этом эксперименте. Эксперимент был проведен на двух серийных истребителях. Оба летчика были заранее уведомлены об объекте, РЛИ которого требуется получить. Поэтому оба они выполняли телескопический обзор объекта с заранее известными координатами.

Если задачей картографирования является обзор определенной площади, то, как известно, видами обзора, обеспечивающими такую возможность, являются полосовой и секторный обзоры (со всеми их разновидностями). При полосовом обзоре получить изображение полосы, подсвечиваемой активной РСА, можно лишь при полной синхронности движения ДН антенн обеих частей РСА. Обеспечить такой вариант синхронности достаточно трудно, поэтому более приемлемым является использование в активной РСА секторного обзора, а в пассивной – набор телескопических обзоров, выполняемых со смещением встык или с перекрытием таким образом, чтобы произвести обзор всего участка местности (рис. 4). Обнаружение отраженного сигнала может выполняться адаптивными методами. В результате на пассивной стороне получаем РЛИ всего участка местности. Линейное разрешение РЛИ при таком варианте будет определяться полосой излучаемого сигнала (по одной координате) и временем когерентного накопления сигнала (по другой координате). Пассивная часть РСА при этом может двигаться в любом направлении по отношению к наблюдаемому объекту. Периодичность получения РЛИ зависит от времени (цикла) сканирования активной позиции, т.е. от цикла секторного обзора. Известно [13–16], что разрешающая способность БиРСА определяется как

$$\rho = \lambda / \left[\left(V_{\text{тпр}\delta} / R_{\text{нр}\delta} + V_{\text{тпр}m} / R_{\text{нр}m} \right) \cdot \cos(\beta/2) \cdot T_c \right],$$

где λ – длина волны,

$V_{\text{тпр}\delta}$ – скорость передающей части БиРСА,

$R_{\text{нр}\delta}$ – дальность от активной РСА до объекта,

$V_{\text{тпр}m}$ – скорость приемной части БиРСА,

$R_{\text{нр}m}$ – дальность от активной РСА до объекта,

β – бистатический угол (рис. 2),

T_c – интервал когерентного накопления.

Время синтезирования T_c определяется временем «подсвета» активной позицией данного участка местности. Таким образом, линейное разрешение РЛИ зависит от ширины следа и скорости сканирования ДН активной позиции

$$T_c = \Theta_{\text{нр}\delta} / \Omega_{\text{нр}\delta},$$

где $\Theta_{\text{нр}\delta}$ – ширина ДН активной позиции по уровню 3 дБ,

$\Omega_{\text{нр}\delta}$ – угловая скорость сканирования ДН активной позиции.

Из приведенных выражений видно, что разрешающая способность БиРСА зависит от ширины ДН антенны активной позиции. С точки зрения улучшения разрешающей способности как потребительской характеристики ширину ДН нужно увеличивать. С другой стороны, чем шире ДН антенны, тем меньше ее коэффициент усиления и, как следствие, происходит снижение энергетических характеристик БиРСА. Известно [13], что мощность сигнала в приёмной антенне равна

$$P_{\Pi} = P_{\text{И}} G_{\text{И}} \sigma S_{\Pi} / (4\pi R_{\text{И}} R_{\Pi})^2,$$

где $P_{\text{И}}$ – средняя мощность излучения,

$G_{\text{И}}$ – коэффициент усиления излучающей антенны по мощности,

σ – эффективная площадь отражения (ЭПО) объекта,

S_{Π} – эффективная площадь приёмной антенны,

$R_{\text{И}}$ – наклонная дальность от излучающей позиции до объекта,

R_{Π} – наклонная дальность от объекта до приёмной позиции.

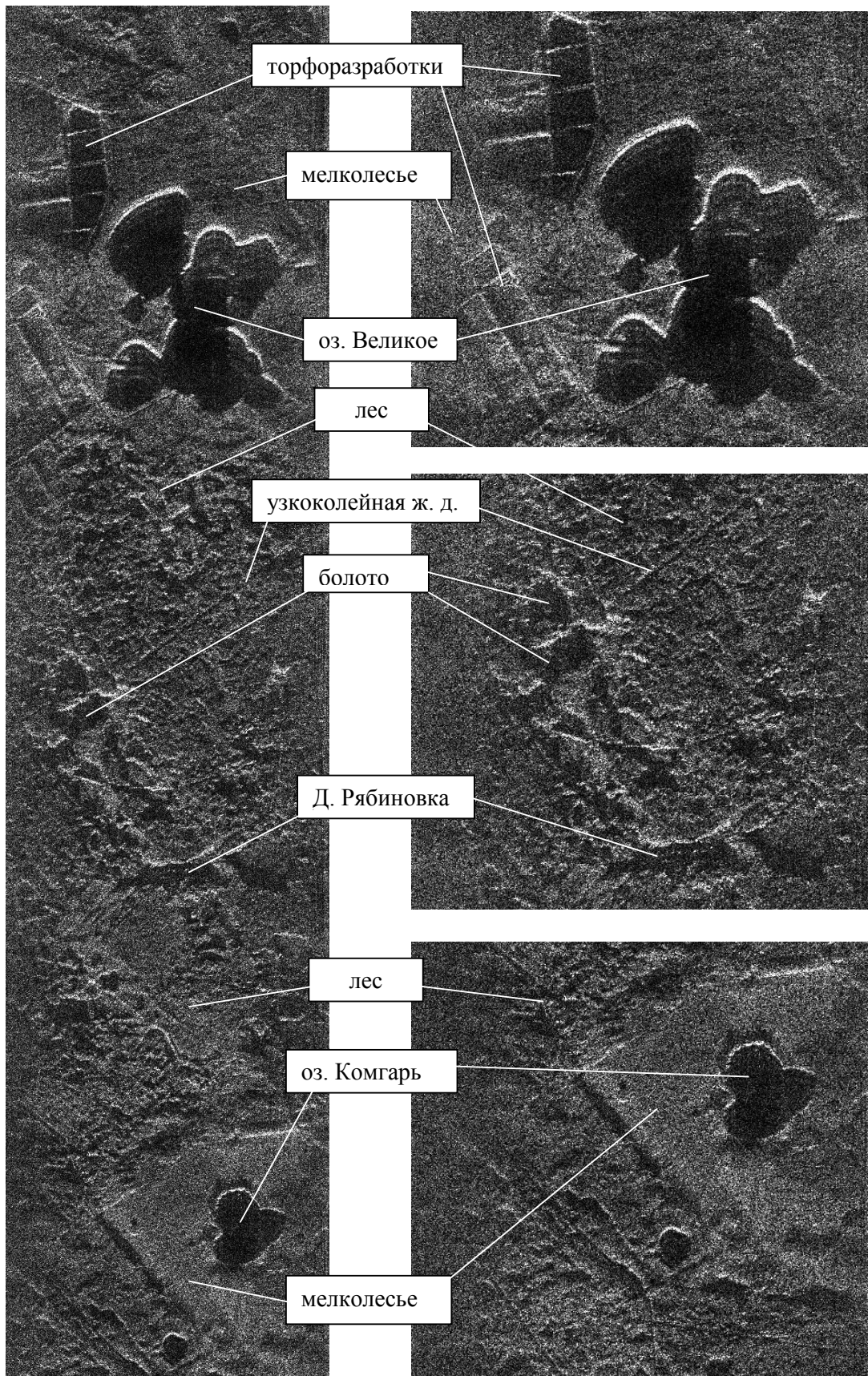


Рис.3. РЛИ БиРСА района озера Великое в районе г. Гусь-Хрустального

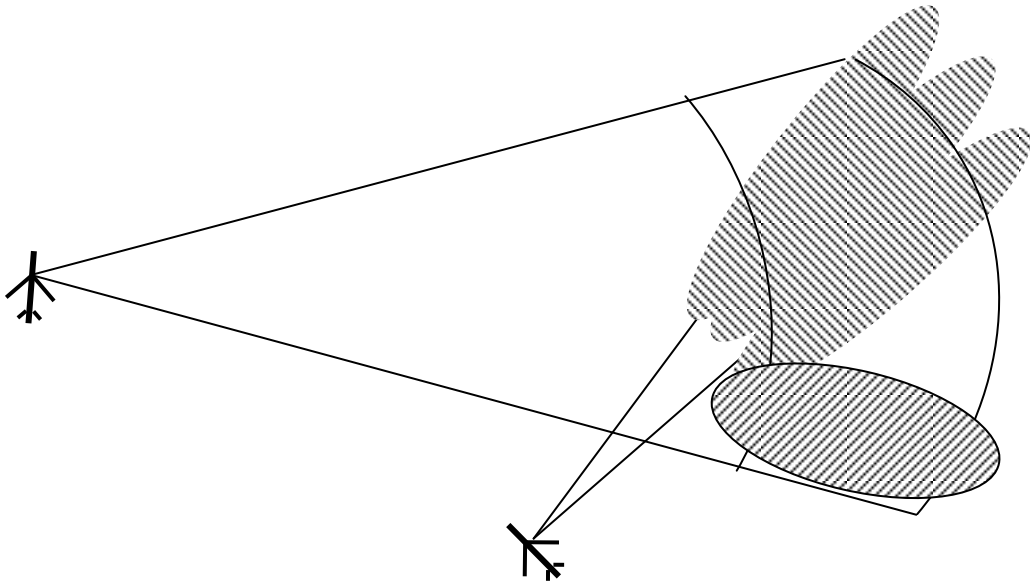


Рис. 4.Схема варианта обзора земной поверхности БиРСА

Положительным в решении вопроса об энергетических характеристиках БиРСА является то, что расстояние от приемной позиции до объекта может быть много (на порядок и более) меньше, чем расстояние от передающей позиции до объекта. Это означает, что ширина следа ДН активной позиции примерно на порядок больше, чем на приемной, что снижает требования к угловой скорости сканирования при секторном обзоре. Для того, чтобы получить конкретные параметры составляющих БиРСА необходимо произвести расчеты с конкретными характеристиками составных частей РЛС и требований к ним (обнаружение фона и какого, обнаружение объекта и какого).

Способ обработки на приемной стороне (на борту или на наземной установке) не претерпевает какой-либо серьезной доработки по отношению к известным [15]. Одним из вариантов может быть предложен способ гармонического анализа

$$e(\omega_x, r) = \int_{-\frac{\Delta X_c}{2}}^{\frac{\Delta X_c}{2}} \tilde{\xi}(x_1, r) \exp\{-j\omega_x x_1\} dx_1,$$

где $\tilde{\xi}(x_1, r) = \xi(x_1, r)h_{0x}(x_1)$ – сигнал РГ, умноженный на опорную функцию

$$h_{0x}(x_1) = \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda R_0} x_1^2\right\}$$

с квадратичной фазой; $-\Delta X_1/2 \leq x_1 < \Delta X_1/2$; $\omega_x = 4\pi x/(\lambda R_0)$ – доплеровская частота траекторного сигнала, однозначно ассоциирующаяся с азимутальной координатой (путевой дальностью) x .

Справедливость данного утверждения была доказана в ходе проведения указанного вышеэксперимента, когда на борту пассивного самолета было получено РЛИ аналогичное по качеству РЛИ активного самолета (т.е. моностатическому РЛИ). При этом программное обеспечение системы обработки сигналов пассивного самолета оставалось практически без изменения.

Таким образом, бистатическое синтезирование может быть реализовано уже в настоящее время, причем для этого потребуется незначительное изменение программного обеспечения в основном штатных бортовых РЛС.

Литература

1. Гуськов Ю.Н., Карпов О.А., Малёв В.И., Титов М.П., Толстов Е.Ф. Формирование радиолокационных изображений в экспериментальном полете и в наземных условиях при бистатическом синтезировании апертуры антенны // Цифровая обработка сигналов в РСА / Под ред. Е.Ф. Толстова. – Смоленск: Изд-во ВА ВПВО РФ, 2005.
2. Ярлыков М.С., Богачев А.С., Миронов М.А. Боевое применение и эффективность авиационных комплексов / Под ред. М.С. Ярлыкова. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1990.
3. Корнеев А.В., Ярушкин М.М. Особенности построения двухпозиционной РСА типа "ИСЗ-ЛА". НММ по цифровой обработке сигналов. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1995. – С.224-234.
4. Hsu Y.S., Lortz D.C. Space borne bistatic radar – an overview // IEEE Proc. 1986. Vol.F133.No.7. Pp. 642-648.
5. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993.
6. Черняк В.С., Заславский Л.П., Осипов Л.В. Многопозиционные радиолокационные станции и системы // Зарубежная радиоэлектроника. 1987. № 5. С. 9-70.
7. Wendler M., et al. Results of a Bistatic Airborne SAR Experiment // Proceedings of IRS 2003, Dresden, Germany.
8. Willis N.J. Bistatic Radar. – SciTech Publishing Inc., 2005.
9. Yates G., et al, Bistatic SAR image formation // Proceedings of EUSAR 2004, Ulm, Germany
10. Krieger G., et al. Impact of Oscillator Noise in Bistatic and Multistatic SAR // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. Vol.3.No.3. July 2006. Pp. 424-428.
11. Sanz-Marcos J., Lopez-Dekker P., Mallorqui J.J., Aguiar A., Prats P. SARBINA: a SAR bistatic receiver for interferometric applications // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. Vol.4. No.2. April 2007. Pp. 307-311.
12. Time and Frequency Synchronisation Aspects for Bistatic SAR Systems Matthias Wei., FGAN-FHR/EL, Neuenahrer Stra. e 20, D-53343 Wachtberg, Germany.
13. Радиолокационные станции обзора Земли / Г.С. Кондратенков, В.А. Потехин, А.П. Реутов, Ю.А. Феоктистов; Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: Радио и связь, 1983.
14. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов/ Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: «Радиотехника», 2005.
15. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В.Н. Антипов, В.Т. Горяинов, А.Н. Кулин и др.; Под ред. В.Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988.
16. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / Л.А. Школьный, Е.Ф. Толстов, А.Н. Детков и др.; Под ред. Л.А. Школьного. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008.