
Дистанционное зондирование сред

УДК 621.396

НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Борисенков Алексей Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники и связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

E-mail: tors@psati.ru.

Горячкин Олег Валериевич

доктор технических наук, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники и связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, научный руководитель Центра радиолокационного дистанционного зондирования Земли.

E-mail: gor@psati.ru.

Долгополов Вадим Николаевич

заведующий лабораторией кафедры теоретических основ радиотехники и связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

E-mail: tors@psati.ru.

Женгуров Борис Глебович

аспирант кафедры теоретических основ радиотехники и связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

E-mail: loir47@rambler.ru.

Курков Игорь Геннадьевич

старший научный сотрудник Центра радиолокационного дистанционного зондирования Земли, соискатель кафедры теоретических основ радиотехники и связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

E-mail: rw4hox@rambler.ru.

Хохлов Сергей Михайлович

старший научный сотрудник Центра радиолокационного дистанционного зондирования Земли, соискатель кафедры теоретических основ радиотехники и связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

E-mail: hgns@mail.ru.

Адрес: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23.

Аннотация: В статье рассмотрены некоторые перспективные направления развития многопозиционных радиотехнических систем (РТС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), основанных на методе синтеза апертуры антенны (МПРСА или МПРЛК). Многопозиционные системы РСА представляют собой набор разнесенных в пространстве приемников и передатчиков. Такая схема построения системы ДЗЗ позволяет производить съемку под разными ракурсами с низкой периодичностью съемки. В статье приводится описание систем, разрабатываемых в Поволжском Государственном Университете Телекоммуникации и Информатики (ПГУТИ). Одна из основных систем - это бистатический радиолокационный комплекс для малого космического аппарата «АИСТ-2» (разработчик ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» и СГАУ, г. Самара). Также в статье описаны радиолокационные системы наземного базирования. Основная идея, объединяющая данные направления, это создание все более простых, дешевых, доступных технологий радиовидения, обеспечивающих их более широкое применение в различных практических задачах ДЗЗ, расширение круга

задач за счет создания новых возможностей РТС ДЗЗ. Среди этих задач: непрерывный мониторинг природных объектов и элементов инфраструктуры, 3D моделирование местности, наблюдение подповерхностных объектов и структур.

Ключевые слова: фазовая суммарно – разностная моноимпульсная система, векторный синтез, антенная решетка прямоугольных волноводов, диаграмма направленности, электромагнитная совместимость.

Введение

В настоящее время РТС ДЗЗ развиваются не только в направлении создания глобальных, весьма дорогостоящих космических и/или авиационных систем, но и в направлении создания локальных, при этом относительно дешевых технологий, обеспечивающих приемлемый уровень качества решения различных задач ДЗЗ, базирующихся на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), наземном транспорте или некоторой стационарной наземной инфраструктуре.

Удешевление данных ДЗЗ в таких системах достигается путем передачи конечному потребителю фактически собственного средства сбора геоинформации в противоположность традиционному состоянию дел, основанному на передаче (продаже) информации, перераспределяемой из некоторого глобального или регионального центра.

К подобным «облегченным» системам можно отнести: многопозиционные космические РТС ДЗЗ, в которых передающая часть радиотехнической системы размещена на борту космического аппарата, а приемная часть находится на борту БПЛА или на стационарном пункте приема; радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), частично базирующиеся на ЛА или БПЛА или на автомобильном транспорте; РСА, паразитирующие на сигналах других систем, например, систем ТВ вещания, систем глобальной радионавигации, систем широкополосной цифровой связи и пр.

В статье рассмотрены данные тенденции на примере ряда проектов, разрабатываемых в Центре радиолокационного дистанционного зондирования Земли ПГУТИ(г.Самара).

1. Космические многопозиционные радиолокационные системы ДЗЗ

Анализ современного состояния и перспектив развития космических систем (КС) ДЗЗ, ис-

пользующих космические аппараты (КА) радиолокационного наблюдения, позволяет выделить ряд перспективных направлений развития космических технологий радиолокационного ДЗЗ:

- 1) Создание орбитальных группировок космических аппаратов радиолокационного ДЗЗ;
- 2) Использование технологий построения многопозиционных РСА;
- 3) Расширение частотных диапазонов, используемых в космических РСА за счёт использования УКВ и Ку-диапазонов.

Можно предсказать некоторую очевидную этапность в развитии КС радиолокационного наблюдения: 1) Одиночный КА радиолокационного наблюдения; 2) Группировка радиолокационных КА; 3) Развитие группировки радиолокационных КА до многопозиционных радиолокационных систем; 4) Развертывание сетевых многофункциональных систем навигации и радиофизического мониторинга околоземного пространства. Мировая группировка радиолокационных КА находится сегодня на 3-м этапе и стремительно приближается к 4-му. В основе космических сетевых систем будущего может быть использована группировка низкоорбитальных радиолокационных КА, интегрированная в рамках МПРЛК наземными пунктами приема и обработки информации.

В последние годы повышается интерес к использованию космических радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) УКВ - диапазона для подповерхностного зондирования, измерения биомассы растительных покровов, толщины ледников, геологического картографирования и других приложений. Известно, что ключевой проблемой при реализации этих систем является разрушающее влияние ионосферы на радиоволны данного диапазона [1,2]. Кроме этого, реализация подобных систем

предполагает развертывание в космосе крупногабаритной, объемной антенной решетки, применение высокоскоростных радиолиний и ЗУ большой емкости, дорогостоящих космических аппаратов.



Рис.1. Антенная система НА БиРЛК, установленная на корпусе ПГУТИ

Развитие технологий многопозиционного радиолокационного зондирования в последние годы открывает возможности по созданию нового класса аппаратуры радиолокационного зондирования, не требующей вышеперечисленных затрат. Компенсация влияния ионосферы на характеристики радиолокационных изображений в предлагаемой системе обеспечивается использованием «прямого» сигнала КА-наземный пункт (НП) при обработке переотраженного сигнала КА-Земля-НП [3]. Импульсные сигналы УКВ передатчиков, находящихся на орбите, кодируются М-последовательностями. Импульсная мощность излучаемого сигнала составляет не более 225 Вт, средняя мощность – не более 0,7 Вт. Бортовое передающее устройство имеет центральную частоту сигнала 140 МГц, ширина спектра полезного сигнала 50 МГц.

Размер изображаемой области на поверхности Земли определяется зоной фокусировки МПРЛК, которую можно определить, вычисляя корреляцию фазы «прямого» сигнала КА-НП, прошедшего ионосферу, и фазы переотраженного сигнала КА-Земля-НП, также про-

шедшего ионосферу. В [1] было показано, что площадь зоны фокусировки максимальна и достигает практически значимой величины (10-20 км) именно в УКВ диапазоне длин волн.

По предварительным оценкам МПРЛК может включать в себя до 60 МКА, обеспечивающих следующие возможности системы ДЗЗ:

1) 3-х мерное радиолокационное наблюдение в УКВ - диапазоне поверхности Земли и подповерхностных объектов в «телевизионном» режиме (квазинепрерывное наблюдение за счет большого числа МКА) с пространственным разрешением 3-5 м в полосе до 5 км протяженностью до 7 км (при использовании 1-го КА), точностью определения высоты до 3 м, глубиной проникновения под поверхность до 10 м (в зависимости от влажности почвы);

2) В случае приема на систему приемных пунктов МПРЛК позволяет реализовать высокоточное томографирование ионосферы над контролируемым районом.

3) Одновременная работа нескольких КА на орбите создает возможность защиты системы от несанкционированного доступа путем дополнительного кодирования последовательностей зондирующих импульсов.

Прообразом МПРЛК может стать космический, бистатический радиолокационный комплекс (БиРЛК) ДЗЗ и околоземного пространства в УКВ - диапазоне частот, разрабатываемый ПГУТИ для малого КА АИСТ-2 (разработчик ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» и СГАУ, г. Самара), и предназначенный для решения следующих основных задач:

- проведение эксперимента по формированию радиолокационных изображений земной поверхности в ОВЧ - диапазоне частот в бистатическом режиме;

- проведение экспериментов по обнаружению и идентификации объектов на поверхности Земли (в том числе подповерхностных объектов), наблюдение пространственно-распределенных целей;

- проведение экспериментов по построению цифровых моделей рельефа местности;

- разработка методов регистрации сверхширокополосных УКВ-радиосигналов на набор приемных антенн, обеспечивающих возможность проведения последующей томографии ионосферы;

- исследование возможности реализации технологии обращенного синтеза апертуры антенны для радиолокационного наблюдения космических объектов в ОВЧ-диапазоне;

- исследование временных и спектральных характеристик сверхширокополосных ОВЧ-радиосигналов, излучаемых с борта космического аппарата и принимаемых наземными средствами.

В состав наземной аппаратуры (НА) БиРЛК входят: приемная антенна; фидерный тракт; радиоприемное устройство (РПУ); подсистема управления и регистрации (ПУР); НПТС обработки информации БА РЛК (НПТС ОИ). В состав НА БиРЛК входят технические и программные средства обработки радиолокационной информации, анализа и оценки качества радиолокационной информации по геометрическим и радиометрическим характеристикам, визуального представления радиолокационной информации, анализа работоспособности БА БиРЛК, обработки радиолокационной информации для реализации юстировки и калибровки РЛК.

Внешний вид антенны и поворотного устройства представлены на рис.1. Конструкция антенны представляет собой 5-ти элементную широкополосную антенну типа Yda-Yagi, с кросс-поляризацией (круговой поляризацией). Рабочая полоса частот антенны по уровню КСВ = 2 достигает 50 МГц.

2. Радиолокационные системы ДЗЗ, базирующиеся на наземных объектах

Как было отмечено выше, радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), частично базирующиеся на ЛА, или БПЛА, или на автомобильном транспорте, стационарных наземных объектах, могут рассматриваться как некоторая альтернатива традиционным РСА авиационного базирования в тех случаях, когда

проведение авиасъемки по каким-то соображениям затруднительно или нецелесообразно. В этом случае радиолокационное изображение местности может быть получено в рамках одной из рассматриваемых в данном разделе схем:

1. Моностатический («традиционный») РСА, размещенный на борту движущегося автомобиля. Обычно такая схема используется только для отработки элементов РСА, поскольку для получения изображений местности необходима некоторая перспектива, однако, если рельеф местности позволяет получить изображение интересующего объекта, то подобная система может быть востребована на практике.

2. Бистатический РСА, передающая часть которого размещена на борту БПЛА или на автомобиле, а приемная часть размещается стационарно на некоторой господствующей высоте и при этом является мобильной. В рамках подобной схемы легко реализовать вполне экономически и практически оправданную систему мониторинга объектов в радиодиапазоне.

На рис. 2 показан вариант размещения моностатической РСА УКВ диапазона на автомобиле.



Рис.2. Моностатическая РСА УКВ диапазона, размещенная на автомобиле, разработанная в ПГУТИ

Данная РСА обеспечивает формирование радиолокационного изображения (РЛИ) объектов с пространственным разрешением 3×3 м, в полосе от 300 до 5000 м справа по движению

автомобиля. Радиопередающее устройство (РПУ) РСА формирует фазоманипулированный сигнал, кодированный М - последовательностью с базой от 63 до 4095 на перестраиваемой несущей от 100 до 200 МГц с периодом повторения от 0,1 до 83000 Гц. Полоса частот РПУ составляет 50 МГц, пиковая мощность в импульсе от 90 до 500 Вт в зависимости от типа используемого источника питания. Радиоприемное устройство обеспечивает 2-х канальный прием в заданной полосе частот и линейное усиление минимального отраженного сигнала (60-90дБ) до уровня, используемого в АЦП $1,35/2^{12}=330$ мкВ. В качестве АЦП используется канал первичной обработки, состоящий из базового несущего модуля FMC106P и мезонинного модуля АЦП FM412x500M.

Мощность отраженного сигнала (P_s) может быть оценена по формуле (1), где r - расстояние до цели, $P_i = 225$ Вт – импульсная мощность передатчика, $g_1 = 0$ дБ – коэффициент усиления передающей антенны (ненаправленная антенна, использованная в эксперименте с точечной целью), $g_2 = 9$ дБ - коэффициент усиления приемной антенны, $\sigma = 2$ м² – ЭПР точечной цели, λ - длина волны. Мощность отраженного сигнала от тестовой цели, представляющей собой шар из алюминиевой фольги радиуса 0,4 м, с расчетной ЭПР 2,011 м² составляет $9,8 \cdot 10^{-12}$ - $1,6 \cdot 10^{-14}$ Вт на расстоянии от 1000 до 5000 м.

$$P_s = P_i \cdot g_1 \cdot \sigma \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot r^2}\right) \cdot \lambda^2 \cdot \frac{g_2}{4 \cdot \pi}. \quad (1)$$

Амплитуда напряжения гармонического сигнала от тестовой цели на входе АЦП при использовании приемника с коэффициентом усиления по мощности 40 дБ составит от 2200 мкВ до 0,8 мкВ в рассматриваемом диапазоне расстояний. Знак отраженного сигнала от тестовой цели сохраняется на расстоянии до 2,6 км от РЛС.

На рис. 3 показан результат эксперимента по построению радиолокационного изображения тестовой цели.

На рис. 4 показан результат эксперимента по построению РЛИ земной поверхности при движении автомобиля по мосту.

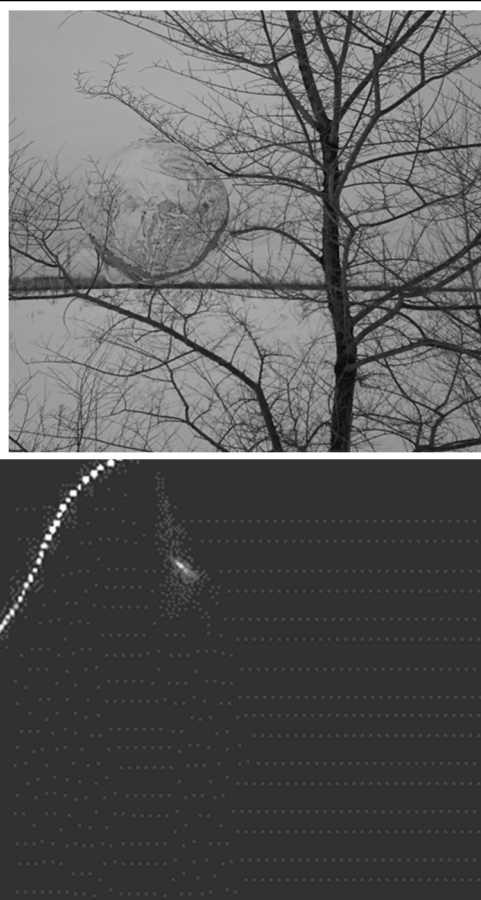


Рис. 3. Радиолокационное изображение точечной цели

На РЛИ (рис. 4) трасса автомобиля находится в левом нижнем углу, расстояние от трассы до верхнего угла РЛИ примерно 6 км. Расходящиеся лучи от левого нижнего угла к верхнему углу РЛИ – помеха от зондирующего сигнала в прямом канале РСА.

На рис. 5 и 6 показаны результаты бистатистического эксперимента, в котором передатчик устанавливался на движущемся автомобиле, а 2-х канальный приемник стационарно. Синхронизация приемника осуществляется по сигналу, записываемому в канале прямой видимости перемещающегося передатчика или по прямому сигналу передатчика попадающего в канал отраженного сигнала.

В этом случае в процессе совместной регистрации отраженного и прямого сигнала необходимо учесть требование к значительному расширению динамического диапазона канала регистрации отраженного сигнала.



Рис. 4. Радиолокационное изображение местности (сверху) при движении РЛС по мосту (снизу)

Отношение мощностей прямого сигнала (P_1) к мощности отраженного (P_2) в этом случае задается следующей формулой

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{4\pi R_{22}^2 R_{21}^2 G_1}{R_1^2 G_2 \sigma}, \quad (2)$$

где G_1 - коэффициент усиления антенны прямого канала, G_2 - коэффициент усиления антенны отраженного канала, R_{22}^2 - расстояние от цели до антенны отраженного канала, R_{21}^2 - расстояние от цели до антенны РПУ, размещенного на автомобиле, R_1^2 - расстояние от антенны РПУ до антенны прямого канала в приемнике. Расчеты показывают, что на расстояниях до тестовой цели с ЭПР $\sigma \approx 2\text{ м}^2$ от 1000 до 5000 м на расстоянии приемной позиции примерно 1000 м от трассы автомобиля с РПУ, отношение P_1 к P_2 составит 60-90 дБ.

Таким образом, система регистрации должна обеспечить значительно больший динами-

ческий диапазон сигналов в сравнении с «обычной», моностатической РСА.



Рис. 5. Стационарная приемная позиция бистатического РСА

3. Радиолокационные системы ДЗЗ, паразитирующие на сигналах других РТС

Среди РТС ДЗЗ отдельный интерес представляют системы, которые для решения целевой задачи используют сигналы «чужих» радиосистем, не являющихся собственно радиолокаторами. Это могут быть системы спутниковой навигации, системы космической связи, системы радио и ТВ вещания, радиодоступа.

Такой подход к созданию РТС ДЗЗ привлекателен в экономическом отношении, так как часть элементов системы уже развернута. Кроме того, создаваемые элементы РТС ДЗЗ могут быть пассивными, что обеспечивает высокую скрытность разворачиваемой системы, что, в свою очередь, может быть весьма актуальным для специальных применений. В [4,5] уже описывался эксперимент, проведенный в ПГУТИ и иллюстрирующий некоторые особенности реализации бистатической РСА (БиРСА), паразитирующей на ТВ-сигнале.

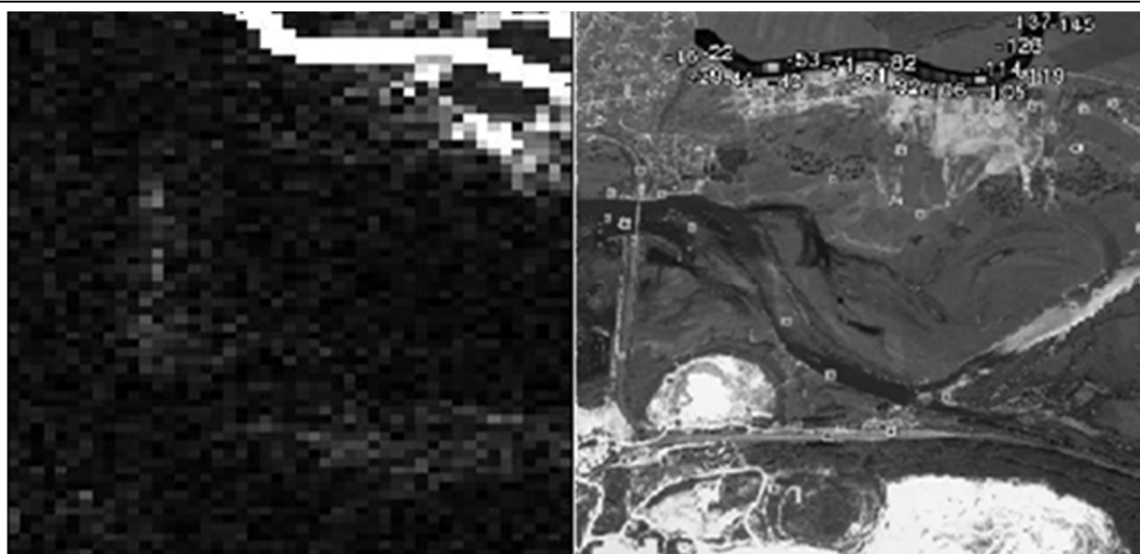


Рис. 6. Радиолокационное изображение местности (слева) бистатической РСА при движении РПУ по трассе и стационарном пункте приема, карта-схема участка местности (справа)

В данном разделе приведены некоторые результаты экспериментов с БиРСА, паразитирующей на сигналах цифрового телевидения и БиРСА, размещенной на борту самолета-лаборатории АН-2 (ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара).

На рис. 7 показаны РЛИ местности, полученные БиРЛК, паразитирующего на сигналах ТВ вещания. Шаг между пикселями изображения 25×25 м. Автомобиль движется по мосту

на высоте 8-14 м в прямой видимости телецентра со скоростью 20-35 м/с. На изображениях видны отражения от некоторых высотных зданий и сооружений. Видно, что цифровое ТВ обеспечивает более высокое качество РЛИ.

Заключение

В статье рассмотрены тенденции развития систем дистанционного зондирования земли, основанных на технологиях радиовидения на примере ряда проектов, разрабатываемых в

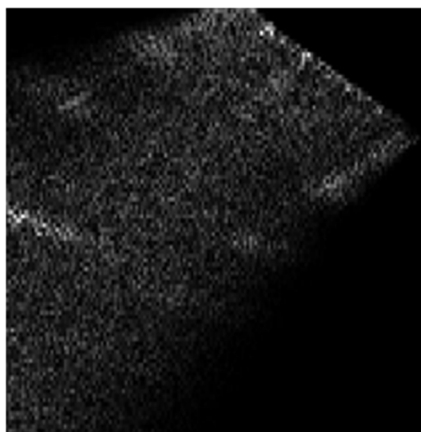


Рис. 7. Пример РЛИ БиРЛК, паразитирующего на сигналах ТВ вещания. Аналоговое ТВ, 50-канал (слева), цифровое ТВ формата DVB-T2 (справа)



Рис. 8. Пример РЛИ БиРЛК, паразитирующего на сигналах ТВ вещания. Аналоговое ТВ, 50-канал (слева), цифровое ТВ формата DVB-T2 (справа)

настоящее время в Центре радиолокационного дистанционного зондирования Земли ПГУТИ. Основная идея, объединяющая данные направления, это создание все более простых, дешевых, доступных технологий радиовидения, обеспечивающих их более широкое применение в различных практических задачах ДЗЗ, расширение круга задач за счет создания новых возможностей РТС ДЗЗ. Среди этих задач: непрерывный мониторинг природных объектов и элементов инфраструктуры, 3D - моделирование местности, наблюдение подповерхностных объектов и структур.

Литература

1. Горячкин, О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. – М.: Радио и связь, 2003. – 230 с.
2. Басараб М.А., Волосюк В.К., Горячкин О.В. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях. / Под ред. Кравченко В.Ф. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 544 с.
3. Akhmetov R., Goriachkin O., Ivachenko E., Kovalenko A., Riemann V., Stratilatov N., Tkachenko S. Multi-Positional VHF-Band SAR System for Earth Observation on the Basis of Microsatellites // Program and Book of Abstracts for 12th URSI Commission-F

Triennial Open Symposium on Radio Wave Propagation and Remote Sensing 8th – 11th March 2011 and URSI-F Training Workshops 7th March 2011 in Garmisch-Partenkirchen, Alpine-Bavaria, Germany, 2011, P:78-80.

4. Борисенков А.В., Горячкин О.В., Долгополов В.Н., Женгуров Б.Г. Бистатический радиолокатор с синтезированной апертурой, паразитирующий на сигналах ТВ вещания // Радиолокация, навигация, связь: сборник научных трудов XIX международной научной конференции, г. Воронеж, 16-18 апреля 2013. - Воронеж, 2013. - Т.3. - С. 1685-1696.
5. Борисенков А.В., Горячкин О.В., Долгополов, В.Н., Женгуров Б.Г. Бистатический радиолокатор с синтезированной апертурой, паразитирующий на сигналах ТВ вещания // Инфокоммуникационные технологии. - 2013. – Т.12. - №2. – С.13-22.
6. Samczynski P., Kulpa K.S., Malanowski M., Krysik P., Maślowski Ł. Trial results on passive SAR measurement using the Envisat-1 satellites an illuminator of opportunity // Proceedings of 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar, April 23 - 26, 2010 Nuremberg, Germany. – P. 724-727
7. Ramongassie S., Valle P., Orlando G., Giotgio P., Heliere F., Arcioni M. P-band SAR instrument for BIOMASS. // Proceedings of 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar, June 03 - 05, 2014 Berlin, Germany. – P.1156-1159.

Поступила 12 февраля 2015 г.

English

Trends of multi-positional radio engineering systems for Earth remote sensing

Alexey Vladimirovich Borisenkov - Candidate of Technical Sciences Department of Radio engineering and communication Volga State University of telecommunications and informatics.

E-mail: tors@psati.ru.

Oleg Valeriyevich Goryachkin - Doctor of Engineering Department head of Fundamentals of Radio engineering and communication Volga State University of telecommunications and informatics. Research supervisor of Center of Radar remote Earth sensing.

E-mail: gor@psati.ru.

Vadim Nikolaevich Dolgopov – Laboratory head of the of Department Fundamentals of Radio engineering and communication Volga State University of telecommunications and informatics.

E-mail: gor@psati.ru.

Boris Glebovich Zhengurov – Graduate student Fundamentals of Radio engineering and communication Volga State University of telecommunications and informatics.

E-mail: loir47@rambler.ru.

Igor Gennadevich Kurkov – Senior research associate Center of radar Earth remote sensing Aspirant of Department Fundamentals of Radio engineering and communication Volga State University of telecommunications and informatics.

E-mail: rw4hox@rambler.ru.

Sergey Mikhaylovich Khokhlov – Senior research associate Center of radar Earth remote sensing Aspirant of Department Fundamentals of Radio engineering and communication Volga State University of telecommunications and informatics.

E-mail: hgns@mail.ru.

Address: 443010, Samara, L. Tolstogo st, 23.

Abstract: Today multi-positional synthetic aperture radars are widely spread around the world. These are systems with spaced apart transmitting and receiving points where space target selection is done via aperture synthesizing algorithms for subsequent extraction of useful information. The following advantages of these systems can be highlighted: receiving station electronic security, supervision possibility of required area in radio-wave imaging mode, cost reduction of Earth remote sensing data. The article describes systems developed in Volga Region State University of Telecommunication and Information Science. The first chapter analyzes current state of multi-positional sensing systems and also new space-bourne system developed by VRSUTI for small device "AIST-2" (designers are JSC Space and Missile Centre "Progress" and Samara State Aerospace University, Samara) is introduced. The second chapter describes land transportation-based radar facilities. A number of experiments on obtaining radar images have been carried out to confirm operating capability of these systems. The first experiment was made according to monostatic circuit when receiver and transmitter were in one car. Transmitter was moving in land transportation and receiver was static during the next experiment. Chapter 3 describes experiments with radar that uses a signal from TV center to get long-wave hologram and airplane and car were used as transportation during the procedure. This approach is promising in regard to creation of systems for Earth remote sensing in view of economic point because part of system elements is already developed.

Key words: phase sum-and-difference monopulse system, vector synthesis, antenna array of rectangular waveguides, direction pattern, electromagnetic compatibility.

References

1. Goryachkin O.V. Methods of blind signal processing and their application in radio engineering&communication systems. - M.: Radio I svyaz 2003. – 230 p.
2. Basarab M. A., Volosyuk V. K., Goryachkin O. V., etc. Digital signal and image processing in radiophysical applications. – Ed. by Kravchenko V. F. - M.: FIZMATLIT, 2007. – 544 p.
3. Akhmetov R., Goriachkin O., Ivachenko E., Kovalenko A., Riemann V., Stratilatov N., Tkachenko S. Multi-Positional VHF-Band SAR System for Earth Observation on the Basis of Microsatellites. - Program and Book of Abstracts for 12th URSI Commission-F Triennial Open Symposium on Radio Wave Propagation and Remote Sensing 8th - 11th March 2011 and URSI-F Training Workshops 7th March 2011 in Garmisch-Partenkirchen, Alpine-Bavaria, Germany, 2011, P.78-80.
4. Borisenkov A.V., Goryachkin O. V., Dolgopov V. N., Zhengurov B. G. Bistatic radar with synthetic aperture sponging on TV broadcasting signals. - Radiolokatsiya, navigatsiya, svyaz: sbornik nauchnykh trudov XIX mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Voronezh, April 16-18, 2013. - Voronezh, 2013. - T.3. – P. 1685-1696.
5. Borisenkov A.V., Goryachkin O. V., Dolgopov V. N., Zhengurov B. G. . Bistatic radar with synthetic aperture sponging on TV broadcasting signals. - Infokommunikatsionnye tekhnologii. - 2013. - T.12. - No. 2. – P. 13-22.
6. Samczynski, P., Kulpa., K.S., Malanowski, M., Krysik, P., Maglikowski, z. Trial results on passive SAR measurement using the Envisat-1 satellite as an illuminator of opportunity. - Proceedings of 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar, April 23 - 26, 2010 · Nuremberg, Germany - P.724-727
7. Sophie Ramongassie (Thales Alenia Space, France), Paolo Valle (ThalesAleniaSpace Italy), Giuseppe Orlando (ThalesAleniaSpace Italy), Pier Giotgio Arpese (Selex ES, Italy), Florence Heliere (ESA ESTEC, The Netherlands), Marco Arcioni (ESA ESTEC, The Netherlands) P-band SAR instrument for BIOMASS. - Proceedings of 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar, June 03 - 05, 2014 · Berlin, Germany - P.1156-1159.