

УДК 621.396.96

ПУТИ РАЗВИТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

© 2010 О.В. Горячкин

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара

В статье представлен краткий обзор современного состояния и путей развития радиолокационных космических систем ДЗЗ, обсуждаются их основные области применения. Современные методы радиолокационного наблюдения иллюстрируются на конкретных примерах, анализируются научные проблемы, ограничивающие развитие данной области космической техники. Предлагается этапность в развитии КА радиолокационного наблюдения от одиночных КА до развертывания сетевых многофункциональных систем навигации и радиофизического мониторинга околоземного пространства.

Космический аппарат, многопозиционная радиолокационная система с синтезированной апертурой (МППСА), бистатический радиолокационный комплекс (БРЛК)

1. Введение

Первый космический эксперимент построения изображений поверхности Земли с использованием радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) в L диапазоне частот ("Seasat-A") был проведен США в 1978 году. Результаты этого эксперимента превзошли все ожидания и показали высокие информационные возможности этих систем при наблюдении различных природных явлений, что определило их развитие в будущем.

Отечественная программа радиолокационного зондирования, начавшись запуском космического аппарата (КА) Космос-1500 в 1983 году, пошла по несколько иному пути - использованию радиолокаторов бокового обзора (РБО). РБО имеют на порядок меньшую разрешающую способность, чем РСА, но отличаются более высокой радиометрической точностью и полосой обзора. Эти обстоятельства способствовали уникальной информативности отечественной системы при наблюдении мезомасштабных явлений в Мировом океане и послужили основанием практически беспрерывной эксплуатации этой серии космических аппаратов вплоть до наших дней (Космос 1500, КА серии «Океан», украинские КА серии «Сич», российский КА «Метеор-М»). Постоянное наблюдение поверхности Земли с использованием

РСА в военных целях ведётся с момента запуска США в 1988 году КА LACROSSE, в гражданских целях с запуском Европейским космическим агентством КА ERS-1 в 1991 году. В наши дни на орбите Земли находятся радиолокационные КА ERS, ENVISAT (Европа), RADARSAT (Канада), ALOS (Япония), TERRASAR, SAR-Lupe (Германия), COSMO Skymed (Италия), Метеор-М (Россия). В ближайшем будущем планируются запуски радиолокационных КА в России, Украине, Казахстане, Испании, Малайзии, Китае.

От применения информации этих радиолокационных систем научное сообщество ожидает в ближайшем будущем существенного прогресса в решении таких глобальных проблем, как предсказание землетрясений и извержений вулканов, понимания процессов глобального изменения климата, контроль зарождения и прогноз мощности ураганов и тайфунов, решения проблемы обеспечения глобальной безопасности человечества от стихийных бедствий и катастроф.

Помимо научного назначения эти системы сегодня являются уникальным инструментом при решении таких практических задач, как контроль чрезвычайных ситуаций, экологический мониторинг, картография, сельское и лесное хозяйство, мореплавание во льдах и прочее.

Столь широкий объем решаемых задач является следствием уникальной информативности данных систем. Помимо возможности построения изображений поверхности Земли независимо от времени суток и облачного покрова с высокой разрешающей способностью (до 6см) и полосой обзора (до 500км) информативность РСА зависит от длины волны и поляризации зондирующих сигналов. Это обуславливает перспективы развития многочастотных и поляриметрических РСА, а также тенденцию расширения диапазона используемых частот.

Огромные перспективы для практических приложений РСА открылись в связи с разработкой в 90-х годах метода интерферометрического наблюдения (наблюдение с разнесением в пространстве), который позволяет измерить третью координату – рельеф поверхности с точностью до 3-5 м по высоте.

В отличие от других способов (например, оптической стереосъемки) рельеф измеряется непосредственно в автоматическом режиме, в любую погоду и время суток. Важным этапом в развитии данного направления был эксперимент SRTM проведенный США в течение 11 дневного полета космического челнока "Endeavour" в 1999г. с однопроходным 60-ти метровым радиолокационным интерферометром.

Метод дифференциальной интерферометрии (наблюдение с разнесением во времени) обеспечивает возможность измерения деформаций поверхности земли с точностями порядка длины волны.

2. Области применения радиолокационного ДЗЗ

Основные области применения данных радиолокационного наблюдения Земли из космоса можно разделить на научные, практические и специальные [1-12].

К научным направлениям можно отнести: исследования взаимодействия в системе "океан - атмосфера";

исследования глобального цикла CO и CO₂; исследования состояния и динамики снежного и ледового покрова Земли; исследования механизмов возникновения и возможностей предсказания землетрясений и извержений вулканов; исследования в области климатологии, гляциологии, геофизики и геологии.

Практические направления, это картография, геоинформационные системы, построение цифровых моделей рельефа местности, мониторинг последствий стихийных бедствий и катастроф, обнаружение и измерение мощности морских ураганов и циклонов, контроль и картографирование поверхностных (нефтяных) загрязнений водной поверхности, обеспечение судоходства в высоких широтах (ледовая проводка), контроль состояния лесных массивов, измерение влажности почв, сельское хозяйство, прогноз урожая, рыболовство, контроль состояния нефте- и газо- проводов, экологический мониторинг.

В последние годы интенсивно развиваются авиационные РСА технологии наблюдения укрытых под листвой, замаскированных и углубленных целей, а также целей, расположенных под поверхностью земли (нефте- и газопроводы, коммуникации, бункеры и т.п.). Достигнутый сегодня уровень разрешения до единиц метров, глубина проникновения порядка 10 метров (FOPEN SAR, США; CARABAS-2, Швеция) обеспечивает возможность эффективного решения, в том числе и специальных задач.

В настоящее время космические РСА находят всё большее применение в различных задачах РМ поверхности Земли, а в некоторых из них, например, в исследовании динамических процессов в океане, РСА признается, как наиболее эффективный инструмент для получения достоверной информации.

Радиолокационные изображения (РЛИ) несут в себе зависимость от некоторых специфических характеристик подстилающей поверхности: это

динамика поверхности, диэлектрическая постоянная, микрорельеф.

Естественными причинами, которые могут привести к существенным изменениям этих характеристик и соответственно их РЛИ, могут быть следующие: вегетация и потеря листвы растительностью; повреждения растительности (пожары, загрязнения и т.п.); активное сельское хозяйство; изменение микрорельефа и влажности поверхности (дождь, снег и т.п.); наводнение; эрозия почвы; динамика взволнованной водной поверхности (приводной ветер, мелководье, поверхностно-активные вещества, гидродинамические эффекты, связанные с океанскими течениями и течением рек); изменение структуры морских льдов и глетчеров.

Эти обстоятельства определяют возможность решения с помощью радиолокационного наблюдения целого ряда практических задач. Например, более чем два десятка лет РЛИ используются в геологии для поиска геоморфологических признаков, которые связаны с минералами и газоводонесущими породами [1-5].

РСА - основное средство в дистанционном зондировании морских льдов, проводки судов во льдах. С помощью информации РЛС удастся не только картографировать ледовые поля, но и определять толщину льда, его происхождение, состояние; определить структуру трещин и динамику их развития. Особенно успешно с помощью радиолокационных данных решаются задачи определения характеристик приводного ветра (скорость, направление), а также прогноза энергии ураганов, контроля зон штормов и сильного волнения [4].

Совместно с ИК аппаратурой РСА активно используется для определения зон наиболее эффективного рыболовства, обнаружения косяков некоторых типов промысловых рыб, прогнозирования рыбных запасов и определения квот вылова.

РСА применяется в таких областях, как: картографирование растительных

покровов, определение их типа; отслеживание некоторых типов повреждений окружающей среды, например, в результате лесных пожаров; картографирование влажности почвы и растительности, заболоченности; контроль и управление движением морских и речных судов; обнаружение пленок нефти естественного и искусственного происхождения; контроль порывов нефтепроводов и продуктопроводов; картография и топография высокого разрешения; городское планирование и картография землепользования.

3. Некоторые предварительные результаты проекта радиолокационной космической съемки «Самара сквозь облака»

В рамках развития авиационно-космического кластера Самарской губернии в ПГУТИ при кафедре теоретических основ радиотехники и связи (ТОРС) создан центр радиолокационного дистанционного зондирования Земли (ЦР ДЗЗ).

ЦР ДЗЗ ПГУТИ предназначен для решения следующих основных задач:

- обеспечения потребителей Поволжского региона уникальными данными радиолокационного дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и продукцией, разрабатываемой на их основе;
- разработки новых методов и технологий радиолокационного ДЗЗ, улучшения качества, автоматизированного анализа и дешифрирования изображений, радиоголограмм, интерферограмм и других данных в интересах предприятий авиационно-космического кластера Самарской области;
- обеспечения экспериментальными данными научных исследований, а также обеспечения учебного процесса по дисциплинам ПГУТИ.

С целью создания первоначального банка данных дистанционного

радиолокационного мониторинга территории г. Самара и области в первых числах сентября 2009 г. стартовал проект радиолокационной космической съёмки «Самара сквозь облака».

В рамках этого проекта ПГУТИ совместно с ЦПОИ «Самара» ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» проведена космическая съёмка территории г. Самара и Самарской области в видимом и радиолокационном диапазонах с высоким пространственным разрешением.

Одновременно проводилось масштабное фото и видео документирование малоразмерных, мобильных, динамично меняющихся объектов съёмки, представляющих интерес для потенциальных потребителей космической информации.

Полученные данные позволят реализовать следующие разновидности космической съёмки:

- квазисинхронная радиолокационно-оптическая съёмка малоразмерных объектов в интересах обеспечения высокоточного картографирования; составления и уточнение кадастра; экологического

мониторинга окружающей среды; мониторинга бедствий и катастроф и т.п.;

- интерферометрическая радиолокационная съёмка с целью построения цифровой модели рельефа местности, 3-х мерной модели городской застройки;

- дифференциальная интерферометрическая радиолокационная съёмка с целью измерения микродеформаций зданий, рельефа поверхности Земли, протяженных искусственных объектов (продуктопроводы, автомобильные и железные дороги, плотины, ГЭС и т.п.).

Для обеспечения данной программы экспериментов ПГУТИ организована космическая радиолокационная съёмка космическим аппаратом (КА) радиолокационного наблюдения TerraSAR (Германия). Для обеспечения квазисинхронной радиолокационно-оптической съёмки малоразмерных объектов ЦПОИ «Самара» при ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» организовано космическая съёмка г. Самара КА оптического наблюдения «Ресурс-ДК» (Россия).

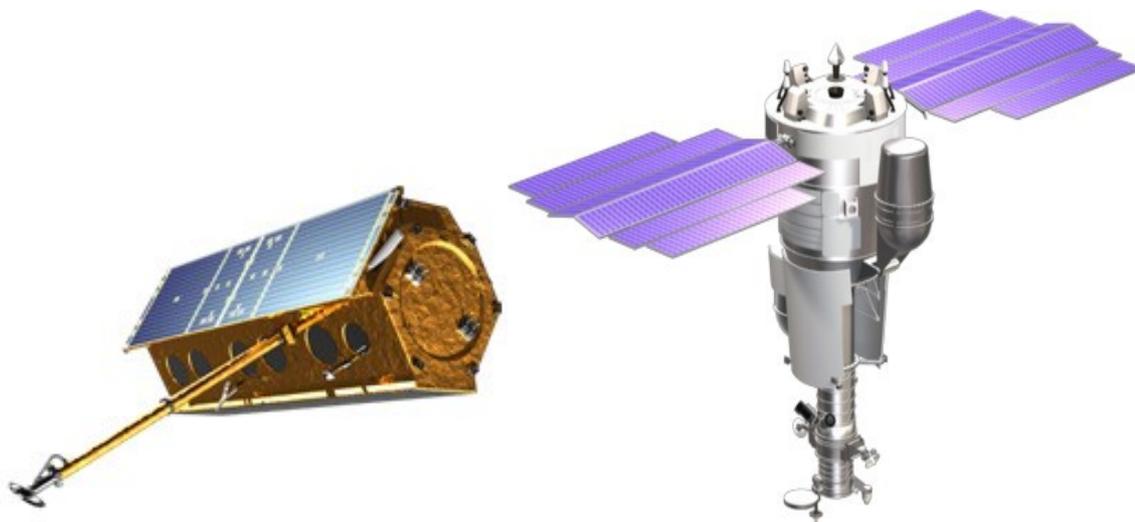


Рис. 1. – Внешний вид КА TerraSAR-X (слева) и КА Ресурс-ДК (справа)

Для обеспечения высокоточного мониторинга пространственных микродеформаций поверхности на территории города с целью демонстрации

возможностей проведена установка пассивных уголковых радиолокационных отражателей разработки ПГУТИ.

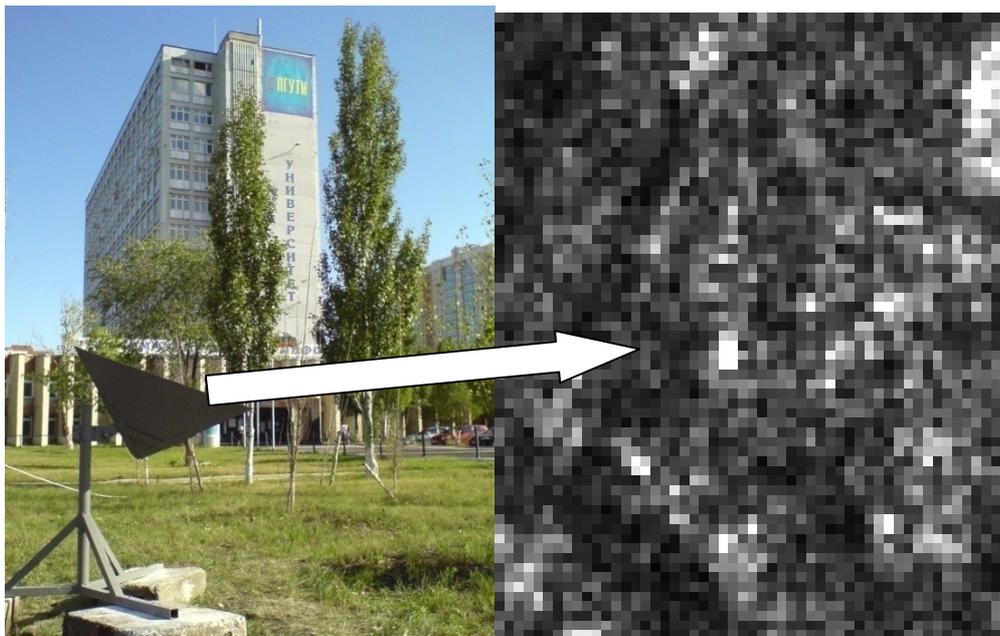


Рис. 2. – Внешний вид углового отражателя (слева) и его радиолокационное изображение, полученное КА TerraSAR-X (справа) (обработка ЦРДЗЗ ПГУТИ)

Обработка радиолокационной и космической съемки, наземных съемок обрабатывались в ЦРДЗЗ ПГУТИ с использованием программных комплексов «ENVI» (программное обеспечение (ПО) фирмы ITT Visual Information Solutions) и

результаты оптической съемки, результаты

«PHOTOMOD Radar» (ПО фирмы Ракурс), а также ПО разработки ПГУТИ.

На Рис.3 показано радиолокационное изображение (РЛИ) участка Самарской луки – Ширяевский овраг, полученное КА TerraSAR-X. На Рис.4 цифровая модель рельефа местности (ЦМРМ), полученная по данным 2-х радиолокационных съемок методом 2-х проходной интерферометрии.

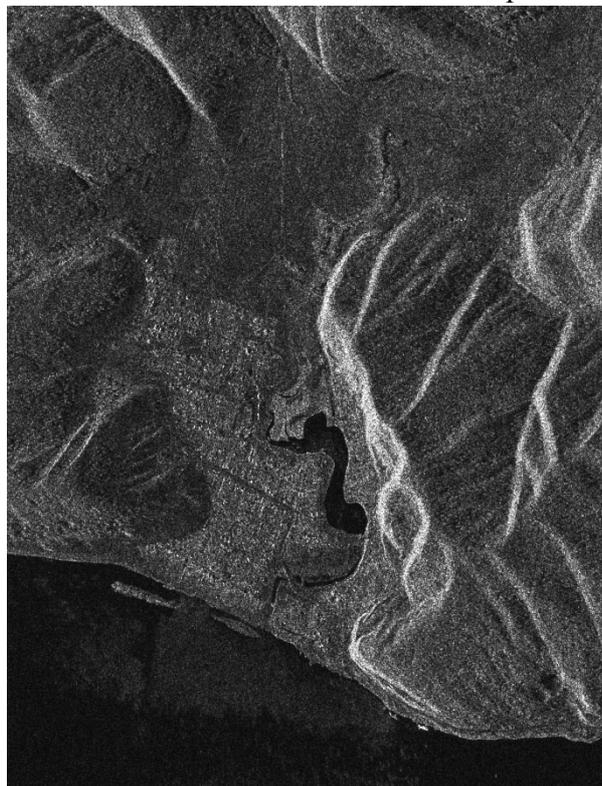


Рис. 3. – РЛИ Ширяевского оврага (обработка ЦРДЗЗ ПГУТИ)

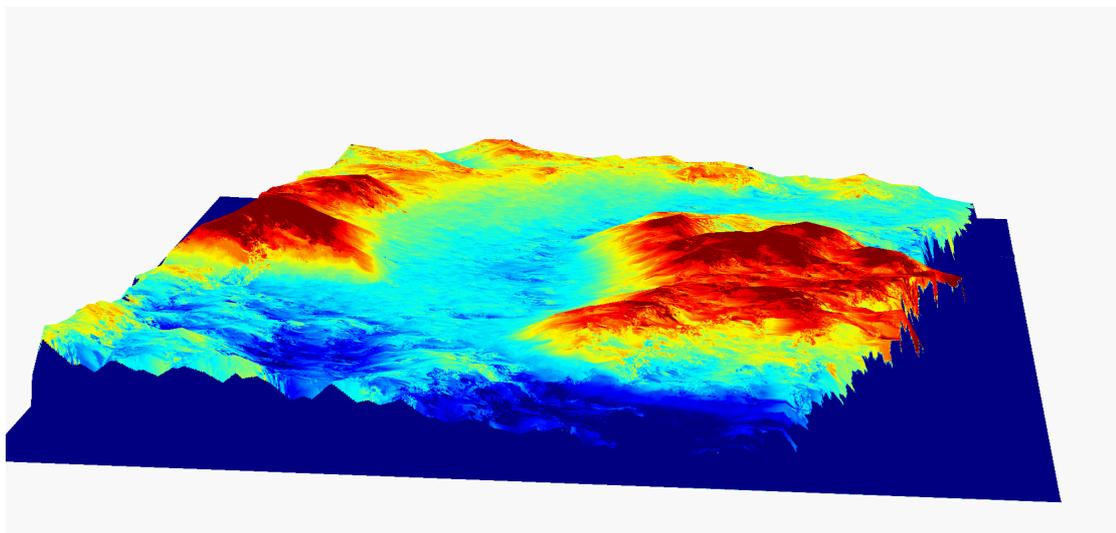


Рис. 4. – Цифровой рельеф Ширяевского оврага, восстановленный по данным 2-х радиолокационных съемок методом 2-х проходной интерферометрии (обработка ЦРДЗЗ ПГУТИ)

На Рис.5 показаны совмещённые радиолокационное и оптическое изображения автомобильной «пробки» в районе ТЦ «Парк-Хаус». Из которых в

частности видно, что организация постоянного радиолокационного наблюдения может обеспечить круглосуточный контроль за трафиком.

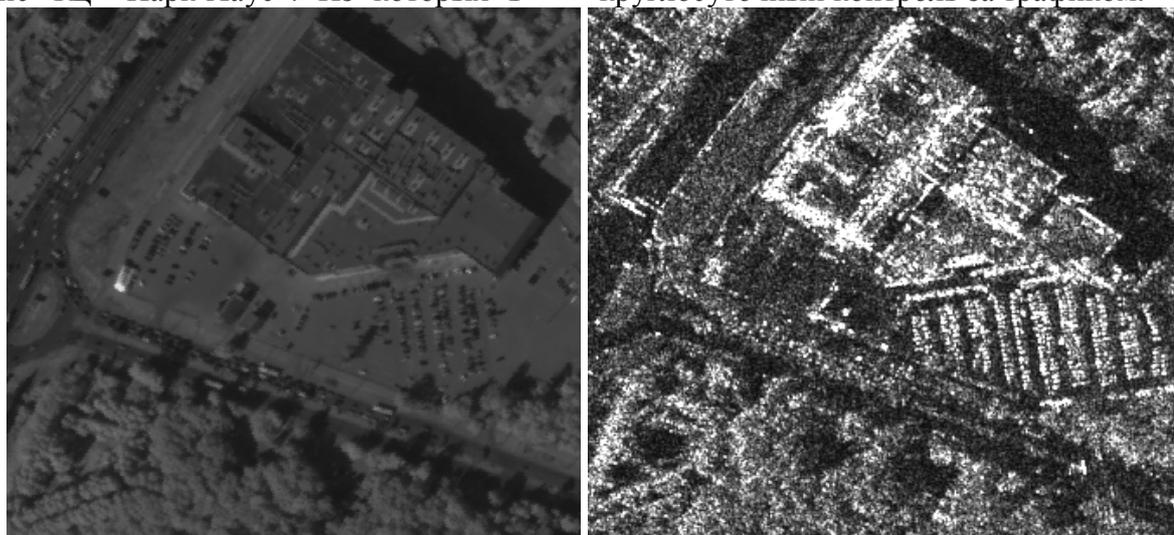


Рис.5. – РЛИ автомобильной пробки в в районе ТЦ «Парк-Хаус». Слева оптическое (КА «Ресурс-ДК»), справа радиолокационное (КА «TerraSAR-X») изображения (обработка ЦРДЗЗ ПГУТИ)

На радиолокационных изображения, полученных в рамках акции «Самара сквозь облака» задокументировано огромное количество объектов городской инфраструктуры, транспорта, связи, природных объектов и т.д. Создана основа для накопления банка данных дистанционного радиолокационного мониторинга территории г. Самара и области. Полученные данные могут быть использованы для решения

многочисленных задач, среди которых: обновление топографических карт; прогноз и контроль развития наводнения, оценка нанесенного им ущерба; прогноз урожайности сельскохозяйственных культур; контроль состояния гидротехнических сооружений на каскадах водохранилищ; реальное местонахождение речных судов в той или иной акватории; отслеживание динамики и состояния рубок леса, природоохранный

мониторинг; оценка ущерба от лесных пожаров и их последствий; соблюдение лицензионных соглашений при освоении месторождений полезных ископаемых; мониторинг разливов нефти и движения нефтяного пятна; контроль несанкционированного строительства; прогноз погоды и мониторинг опасных природных явлений.

4. Современные проблемы развития методов радиолокационного ДЗЗ из космоса

Современную научную проблематику радиолокационного ДЗЗ можно разделить на два основных направления:

первое - это инструментальные проблемы, связанные с разработкой аппаратуры и алгоритмов первичной обработки информации;

второе - проблемы тематической (вторичной) обработки или интерпретации радиолокационной информации.

Одной из актуальных сегодня инструментальных проблем является создание космических радиолокаторов в Р и VHF диапазонах частот. Упомянутые выше существующие РСА работают в диапазоне длин волн от 3 до 23 см (X-L диапазоны).

Как показал опыт эксплуатации авиационных систем, использование Р диапазона (70см) и VHF диапазона (>1м) позволит существенно поднять информативность космических РСА при наблюдении поверхности суши. Как уже отмечалось выше, особенно интересна в этой связи возможность наблюдения объектов находящихся под поверхностью земли.

Однако деструктивное влияние ионосферы в этих диапазонах резко снижает пространственное разрешение (в 10...100 раз), делает невозможной поляриметрическую (эффект Фарадея) и интерферометрическую обработку.

Одним из наиболее предпочтительных путей преодоления последствий данных эффектов является

разработка адаптивных алгоритмов компенсации искажений радиолокационных изображений. Решение этой проблемы с математической точки зрения это решение стационарных и нестационарных интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода с априори неизвестными ядрами по одной или семейству реализаций в условиях аддитивных шумов. Подобная проблема известна и в технике связи и носит название "слепой" идентификации пространственно-временных каналов. Достигнутый в последние годы прогресс в этом направлении позволяет надеяться на успешное развитие систем данного класса [8,9].

Не менее актуальна проблема разработки эффективных алгоритмов сжатия информационного потока на выходе бортовой аппаратуры высокоразрешающих РСА, который на сегодняшний день, на порядок превышает возможности современной передающей информации аппаратуры и существенно ограничивает эффективность космических систем.

До сих пор нерешена проблема получения радиолокационных изображений в реальном масштабе времени на борту КА. Поэтому, несмотря на впечатляющие успехи современной вычислительной техники, проблема разработки быстрых алгоритмов синтеза изображений РСА продолжает оставаться актуальной.

Продолжаются исследования по разработке эффективных алгоритмов обнаружения и оценки параметров движущихся целей на РЛИ.

Проблематика тематической обработки и интерпретации радиолокационных изображений настолько разнообразна, насколько широка область применения радиолокационной информации. Однако здесь можно выделить общие проблемы стандартизации, радиометрической калибровки радиолокационных измерений и геокоррекции.

Традиционно сложной и на сегодняшний день пока нерешенной

остается проблема классификации и распознавания малоразмерных объектов по их радиолокационным изображениям.

В начальной стадии находятся работы по совместному анализу РЛИ и изображений, полученных в оптическом и инфракрасном диапазонах.

5. Некоторые перспективные проекты систем радиолокационного ДЗЗ

Некоторые пути развития радиолокационных систем ДЗЗ в ближайшие 5 лет можно представить окнами возможностей, показанных на Рис.6.

Это, прежде всего **РСА сверхвысокого разрешения** двойного назначения. Особенности этой системы: разрешающая способность 0.3-1м; длина волны РСА 3 см (сантиметровый диапазон); широкополосные

зондирующие сигналы (полоса частот > 500МГц); телескопический режим съемки => 2-х степенное электронное сканирование лучом антенны => преимущественное применение технологий активных фазированных решеток (АФАР); адаптивные, в том числе «слепые» методы цифрового синтеза апертуры ([9,10]). **РСА высокого проникновения** наиболее естественно встраивается в современное состояние промышленности России. Особенности этой системы: разрешающая способность -3м; длина волны РСА 23 см (дециметровый диапазон); полный поляриметрический базис (два канала приема); использование гибридно-зеркальной антенны (6х6м) с облучателем в виде ФАР (сосредоточенный передатчик), обеспечивающим сканирование в угломестной области.

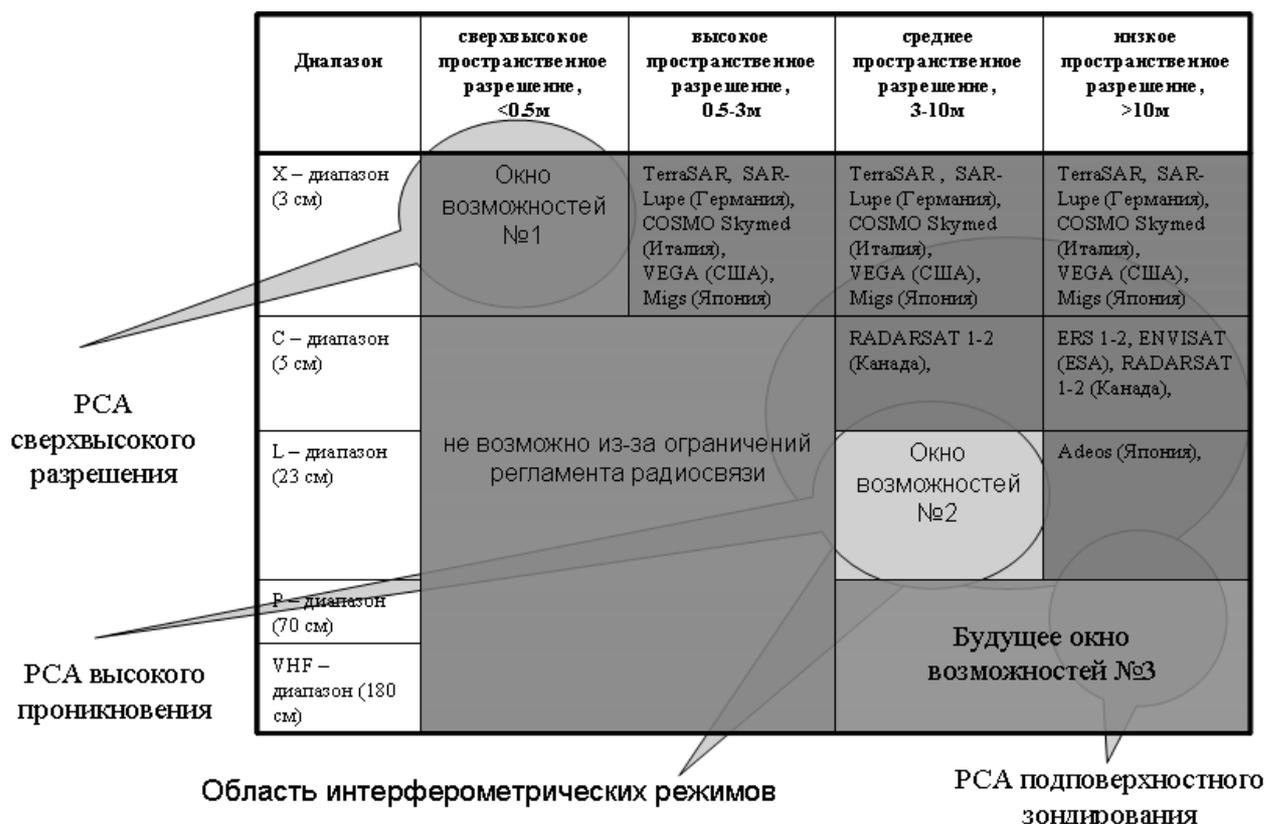


Рис.6. Некоторые перспективы развития радиолокационных систем ДЗЗ

Наиболее сложным представляется реализация РСА подповерхностного зондирования. Особенности этой системы: длина волны РСА 70...250 см (УКВ диапазон); сверхширокополосные

зондирующие сигналы («полоса частот»/«несущая частота» > 1/2); антенная решетка УКВ диапазона большой площади (50-150м²); непредсказуемое разрушение формы

сигнала космических РСА УКВ диапазона в ионосфере Земли; «слепые» методы цифрового синтеза апертуры.

Анализ современного состояния и перспектив развития космических систем ДЗЗ, использующих КА радиолокационного наблюдения, позволяет выделить ряд перспективных направлений развития 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 Ku-диапазонов.

На сегодняшний день возможности по разработке КА ДЗЗ можно представить в виде следующей классификации КА по их весовым характеристикам: пико- (до 1 кг), нано- (1-10 кг), микро- (10-100 кг), мини- (100-500 кг), малые (500-1000 кг) и большие (более 1000 кг) космические аппараты.

Нано- и пикоспутники могут быть предназначены для отработки новых технологий и проведения экспериментов в космосе, в том числе в качестве спутников-инспекторов для съёмки внешних конструктивных элементов пилотируемых космических комплексов.

Микро- и миниспутники (например КА типа «АИСТ», «ТУС») потенциально могут вести обзорную съёмку поверхности Земли с разрешением в оптическом диапазоне порядка 10 м в широкой полосе захвата. При реализации радиолокационной съёмки такие спутники могут быть использованы для построения отдельных элементов многопозиционных радиолокационных систем.

Малые и большие КА (типа разрабатываемых МКА, КА «Барс», «Ресурс-ДК», «Ресурс-ДК1Р») могут быть использованы для детальной оптической и/или радиолокационной съёмки Земли с высоким пространственным разрешением и точностью привязки, широким набором режимов съёмки. Полезная нагрузка может включать один-три комплекта аппаратуры для наблюдения в различных

частотных диапазонах, высокоскоростную радиолинию, запоминающее устройство большой емкости, а также попутную полезную нагрузку.

Можно предсказать некоторую этапность в развитии КА радиолокационного наблюдения: 1) Демонстрационный радиолокационный КА; 2) Одиночный КА радиолокационного наблюдения; 3) Группировка радиолокационных КА; 4) Развитие группировки радиолокационных КА до многопозиционных радиолокационных систем; 5) 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 сетевых систем будущего может быть использована группировка низкоорбитальных радиолокационных КА, интегрированная в рамках МПРСА с наземными пунктами приема и обработки информации. На основе результатов первого этапа НИР [13] можно считать целесообразным проведение научно-экспериментальных работ по созданию прототипа космической системы радиолокационного дистанционного зондирования Земли и околоземного пространства. Пробразом подобной системы является космический, бистатический радиолокационный комплекс (БРЛК) ДЗЗ и околоземного пространства в УКВ диапазоне частот [14,15].

МПРЛК может включать в себя до 60 МКА обеспечивающих решение следующих задач ДЗЗ:

- 3-х мерное радиолокационное наблюдение в УКВ диапазоне поверхности Земли и подповерхностных объектов в «телевизионном» режиме (квазинепрерывное наблюдение) с пространственным разрешением 3-5м в полосе до 25 км протяженностью до 20 км (при использовании 1-го КА), точностью определения высоты до 3м,

глубиной проникновения под поверхность до 10м (в зависимости от влажности почвы);

- В случае приема на систему приемных пунктов МПРЛК позволяет реализовать томографирование ионосферы над контролируемым районом, обеспечивает наблюдение и построение портретов воздушных целей, в том числе авиационных средств использующих технологию «стелс».

Областями применения информации МПРЛК являются традиционные сферы применения радиолокационной информации ДЗЗ: картография, геоинформационные системы, геодезия, мониторинг последствий стихийных бедствий и катастроф, контроль и картографирование поверхностных (нефтяных) загрязнений водной поверхности, обеспечение судоходства в высоких широтах (ледовая проводка), контроль состояния лесных массивов, измерение влажности почв, сельское хозяйство, прогноз урожая, контроль состояния нефте- и газо-проводов, экологический мониторинг, археология, контроль динамики поверхности Земли.

Обработка ключевых элементов при реализации БРЛК предполагает размещение на борту КА (специализированный МКА, КА «Бион» или «Ресурс-П») передатчика импульсного широкополосного кодированного сигнала УКВ диапазона (несущая частота 130 МГц, девиация частоты 50 МГц), работающего на ненаправленную антенну. Прием передаваемого сигнала предполагается на стационарный или мобильный (базирующийся на борту самолета или вертолета) приемный пункт (или систему приемных пунктов), имеющий антенную систему из 1-й ненаправленной или 2-х узконаправленных антенн.

Библиографический список

1. Freeman A., Evans D., van Zyl J.J.. SAR Applications in the 21st Century. // Proceedings European Conference on

Synthetic Aperture Radar, 26-28 March 1996, Konigswinter, Germany, P.25-30.

2. Keydel W. SAR Technique and Technology, its Present State of the Art with Respect to User Requirements // Proceedings European Conference on Synthetic Aperture Radar, 26-28 March 1996, Konigswinter, Germany, P.19-24.

3. Калмыков А.И., Цымбал В.Н., Величко С.А., Зубенко Н.В., Кулешов Ю.А., Олейник Н.А. Радиолокационные наблюдения из космоса критических явлений и природных катастроф в мировом океане. - Харьков, 1989, 27с. (Препринт №380 ИРЭ АН УССР).

4. Многоцелевая аэрокосмическая оперативная радиолокационная система получения информации о состоянии основных объектов природной среды Земли ЭКОРОДАР-МЦ. Эскизный проект, Т.1: «Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Обоснование параметров многоцелевого аэрокосмического радиолокационного комплекса» - Харьков, ИРЭ АН УССР, ГМНП «ЭКОРАДАР», 1991, С.326.

5. Proceedings of Forth European Conference on Synthetic Aperture Radar, 4-6 June 2002, Cologne, Germany, - P.888.

6. Proceedings of 5th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 25-27 May 2004, Ulm, Germany, vol.2. - P.998.

7. Горячкин О.В., Дусаев Ш.З., Железнов Ю.Е., Филимонов А.Р. Современное состояние и перспективы развития космических радиолокационных комплексов дистанционного зондирования Земли // Сборник научно-технических статей по ракетно-космической тематике. – Самара, 1999, С.49-56.

8. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. – М.: Радио и связь, 2003. – 230с.

9. Басараб М.А., Волосюк В.К., Горячкин О.В. и др. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях. / Под ред. Кравченко В.Ф. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 544с.

10. Горячкин О.В. Современные проблемы радиотехнического мониторинга Земли из космоса // Радиолокация, навигация, связь: сборник научных трудов XII международной научной конференции, г. Воронеж, 18-20 апреля 2006. - Воронеж, 2006. - Т.3.- С.1910-1916.

11. Кирилин А.Н., Стратилатов Н.Р., Железнов Ю.Е., Журавлев А.А., Иващенко Е.В., Горячкин О.В. Перспектива создания космической системы дистанционного зондирования Земли на базе высокодетального радиолокационного комплекса // Труды XXIV Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», Выпуск 6. – г. Санкт-Петербург.- 2006. – С.11-19.

12. Железнов Ю.Е., Журавлев А.А., Иващенко Е.В., Степанов С.В., Стратилатов Н.Р., Горячкин О.В. Перспектива создания космической системы дистанционного зондирования Земли на базе высокодетального радиолокационного комплекса // Радиолокация, навигация, связь: сборник научных трудов XIII международной научной конференции, г. Воронеж, 17-19 апреля 2007. - Воронеж, 2007. - Т.3.- С.2271-2281.

13. Обзор технологий радиолокационного ДЗЗ // Промежуточный НТО по НИР «Поиск». - Самара: ПГУТИ, 2008. -315с.

14. Внотченко С.Л., Горячкин О.В., Коваленко А.И., Суханов Д.В., Янгазов Р.Р. Эксперимент по прохождению сверхширокополосных УКВ-радиосигналов через ионосферу на базе малого космического аппарата // Радиолокация, навигация, связь: сборник научных трудов XV международной научной конференции, г. Воронеж, 14-16 апреля 2009. - Воронеж, 2009. - Т.3.- С.1842-1855.

15. Akhmetov R.N., Belokonov I.V., Goriachkin O.V., Kovalenko A.I., Riemann V.V., Stratilatov N.R., Tkachenko S.I. Space-

based juxtaposition Earth and Circumterrestrial radar monitoring system based on micro-satellites technologies // in Book of abstracts of the First Specialized International Symposium, Limassol, Cyprus, November 2-7, 2009, M., A.A.Maximov Space Systems Research Institute (NIKS), 2009. – 62 p.

References

1. Basarab M.A., Volosyuk V.K., Goryachkin O.V. and other Digital processing of signals and images in the radiophysics applications. /Edited by. Kravchenko V.F. - M.: FIZMATLIT, 2007. - 544p.

2. Vnotchenko S.L., Goryachkin O.V., Kovalenko A.I., Sukhanov D.V., Yangazov R.R. Experiment on the passage of the super wide-band VHF- radio signals through the ionosphere on the base of small automatic spacecraft // Radar, Navigation, Telecommunication: the collection of the scientific works of XV International scientific conference on April 14 to 16, 2009. - Voronezh, 2009. - V.3. - P.1842-1855.

3. Goryachkin O.V. Methods of the blind working of signals and their application in the systems of radio engineering and communications. - M.: Radios and connection, 2003. - 230p.

4. Goryachkin O.V. Contemporary problems of the radio-technical monitoring of the Earth from space // Radar, Navigation, Telecommunication: the collection of the scientific works XII of International scientific conference, Voronezh, on April 18 to 20, 2006. - Voronezh, 2006. - V.3. - P.1910-1916.

5. Goryachkin O.V., Dusaev Sh.Z., Zheleznov Yu.E., Filimonov A.R. Contemporary state and the prospect for the development of the space radar complexes of the remote sensing of the Earth // the collection of scientific and technical articles on the rocket-space thematics. - Samara, 1999, P.49-56.

6. Zheleznov Yu.E., Zhuravlev A.A., Ivashchenko E.V., Stepanov S.V., Stratilatov

N.R., Goryachkin O.V. Prospect of creating the space system of the remote sensing of the Earth on the base of high(ly)-detailed radar complex // radar, navigation, the connection: the collection of the scientific works XIII of international scientific conference, g. Voronezh, on April 17 to 19, 2007. - Voronezh, 2007. - V.3. - P.2271-2281.

7. Kalmykov A.I., Tsymbal V.N., Velichko S.A., Zubenko N.V., Kuleshov Yu.A., Oleynik N.A. Radar surveillance from space of critical phenomena and natural catastrophes in the world ocean. - Kharkov, 1989, 27[s]. (Preprint of №380 IRE of AS UkcSsr).

8. Kirilin A.N., Stratilatov N.R., Zheleznov Yu.E., Zhuravlev A.A., Ivashchenko E.V., Goryachkin O.V. Prospect of creating the space system of the remote sensing of the Earth on the base of high(ly)-detailed radar complex // the transactions OF XXIV of All-Russian symposium “radar study of natural media”, release 6. - Sankt-Petersburg. - 2006. - P.11-19.

9. Multipurpose aerospace operational radar system of obtaining information about the state of the basic objects of the natural medium of the EKORODAR-MC Earth. Preliminary design, V.1: “The radar systems of the remote sensing of the Earth. Substantiation of the parameters of multipurpose aerospace radar complex” - Kharkov, IRE of Acad. Sc. UkcSsr, 1991, P.326.

10. Survey of the technologies of radar // intermediate NTO on NIR “search”. - Samara: [PGUTI], 2008. -315P.

11. Akhmetov R.N., Belokonov I.V., Goriachkin O.V., Kovalenko A.I., Riemann V.V., Stratilatov N.R., Tkachenko S.I. Space-based juxtaposition Earth and Circumterrestrial radar monitoring system based on micro-satellites technologies // in Book of abstracts of the First Specialized International Symposium, Limassol, Cyprus, November 2-7, 2009, M., A.A.Maximov Space Systems Research Institute (NIIKS), 2009. – 62 p.

12. Freeman A., Evans D., van Zyl J.J.. SAR Applications in the 21st Century. // Proceedings European Conference on Synthetic Aperture Radar, 26-28 March 1996, Konigswinter, Germany, P.25-30.

13. Keydel W. SAR Technique and Technology, its Present State of the Art with Respect to User Requirements // Proceedings European Conference on Synthetic Aperture Radar, 26-28 March 1996, Konigswinter, Germany, P.19-24.

14. Proceedings of 5th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 25-27 May 2004, Ulm, Germany, vol.2. – P.998.

15. Proceedings of Forth European Conference on Synthetic Aperture Radar, 4-6 June 2002, Cologne, Germany, - P.888.

WAYS OF THE DEVELOPMENT OF THE RADAR SPACE SYSTEMS OF THE REMOTE SENSING OF THE EARTH

© 2010 O.V. Goryachkin

Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara

In the article is represented the brief survey of contemporary state and ways of the development of radar space systems of remote sensing of the Earth, their basic fields of application are discussed. The contemporary methods of radar surveillance are illustrated in the concrete examples, are analyzed the scientific problems, which limit the development of this area of space technology. Staging character in the development of satellites of radar surveillance from single satellite to the development of the net multifunctional systems of navigation and radiophysics monitoring of near-earth space is proposed.

Space craft, multiway synthetic aperture radarsystem, bistatic radar system

Информация об авторе

Горячкин Олег Валериевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ радиотехники и связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Область научных интересов: цифровая обработка сигналов в системах радиотехники и связи, радиофизические методы дистанционного зондирования Земли, радиолокация с синтезированием апертуры антенны, слепая идентификация систем, прикладная статистика. Тел. 846 2280087. E-mail: gor@psati.ru

Goryachkin Oleg Valerievich, the doctor of technical sciences, professor, head of department of the theoretical of the theory of radio engineering and connection of the Volga state university of telecommunications and informatics (VSUTI). Area of research: digital processing of signals in the systems of radio engineering and communications, the radiophysics methods of the remote sensing of the Earth, radar with the synthesizing of the aperture of antenna, the blind identification of systems, applied statistics. Tel. 846 2280087. E-mail: gor@psati.ru