

П.И. Нейман (ОАО «НИИ ТП»)

В 2004 г. окончил Московский государственный институт электроники и информатики (МГИЭМ), факультет автоматики и вычислительной техники по специальности «управление и информатика в технических системах». В настоящее время – начальник отдела ОАО «НИИ Точных приборов» (НИИ ТП).

Особенности характеристик и применения авиационных РСА

Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА) широко используются при дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ), так как обладают высоким разрешением, возможностью получать информацию круглосуточно и практически в любую погоду. Более того, РСА позволяют обнаруживать цели под растительным покровом и даже в подповерхностной среде. Последнее качество наиболее полно может быть реализовано в авиационных РСА (АРСА).

Авиационные РСА используются на летательных аппаратах всех типов: самолеты крупногабаритные, среднего класса и легкие, вертолеты, дирижабли. Также АРСА устанавливаются на беспилотные летательные аппараты (БЛА).

Можно выделить четыре класса АРСА:

1. РСА высокого разрешения.
2. Малогабаритные РСА.
3. Многодиапазонные РСА.
4. Подповерхностные РСА.

Авиационные РСА высокого разрешения предназначены в основном для обнаружения и распознавания наземных целей. Предел разрешения 0,3–0,5 м, к которому только приближаются современные космические РСА, давно преодолен их авиационными аналогами. Наилучшие образцы достигли уровня разрешения менее 10–15 см – РСА PAMIR (Германия), LYNX (США) и др.

Малогабаритные АРСА находят применение для воздушного мониторинга, проводимого с малогабаритных БЛА при поисково-спасательных операциях, чрезвычайных

ситуациях и т. п. Для этого в первую очередь должна обеспечиваться всепогодность и круглосуточность получения информации. Основная характеристика таких АРСА – минимальная масса. Здесь также получены выдающиеся результаты. Например, АРСА NanoSAR (США) с разрешением меньше 1 м имеет массу менее 1 кг (рис. 1).

Многодиапазонные АРСА в основном используются для важных исследовательских задач: проведение экспериментов для обеспечения новых информационных технологий ДЗЗ, создания банков радиолокационных характеристик, совершенствования методик

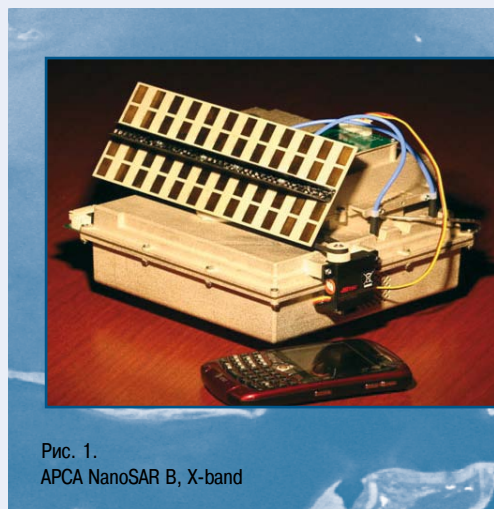


Рис. 1.
АРСА NanoSAR B, X-band

и алгоритмов обработки (дешифрирования) радиолокационных изображений. АРСА данного класса работают сразу в нескольких частотных диапазонах (от 2–3 и более), имеют совершенное метрологическое обеспечение для проведения сложных измерений радиолокационных характеристик земных покровов и объектов. В данном классе можно отметить: американский AIRSAR (Airborne Synthetic Aperture Radar; диапазоны P, L и C) с полной поляриметрией и однопроходной интерферометрией в С-диапазоне (рис. 2), немецкий F-SAR (диапазоны X, C, S, L и P) с реализацией однопроходной интерферометрии в X- и S-диапазонах, французский RAMSES с 8 частотными диапазонами – от P-диапазона до W-диапазона ($\lambda \approx 3,2$ мм).

Авиационные подповерхностные РСА составляют наиболее специфический класс, так как они предназначаются для обнаружения скрытых в лесах и под землей объектов (мин, военной техники, транспортных средств, сооружений, средств коммуникаций и т.п.). Важность этой задачи определило специальное название таких АРСА – FOPEN SAR (Foliage Penetration Synthetic Aperture Radar), т. е. РСА для обнаружения под растительным покровом и GPR (Ground Penetration Radar – радиолокатор для подповерхностного зондирования) (рис. 3). Основными характеристиками подповерхностных АРСА являются пространственное разрешение и проникающая способность радиоволн.

Для сочетания таких важных качеств необходимо использовать радиолокационные сигналы с большим отношением ширины спектра к несущей частоте (так называемые сверхширокополосные сигналы – СШПС). Например, в одном из РСА с СШПС (английское обозначение UWB SAR – Ultra-wideband SAR) фирмы Sandia (США) используется сигнал с шириной спектра от 125 до 950 МГц. Средняя длина волны такого сигнала составляет около 50 см, потенциальное разрешение по дальности около 15 см. Так как рабочая полоса сигнала РСА с СШПС обычно лежит в диапазонах VHF и UHF, для обозначения рабочего диапазона принято обозначение VHF/UHF.

На рис. 4 приведены примеры радиолокационных изображений (РЛИ), полученных в коротковолновом Ку-диапазоне (длина волны около 2 см) и в диапазоне VHF/UHF. Хорошо видна принципиальная разница коротко-



Рис. 2.
АРСА AIRSAR



Рис. 3.
Пример реализации РСА FOPEN SAR на борту самолета

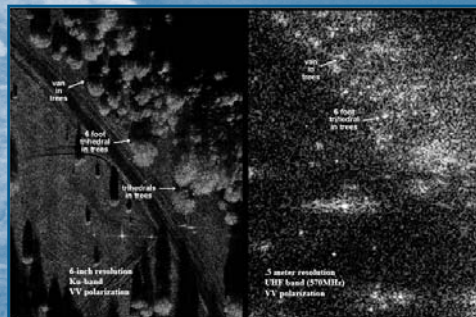


Рис. 4.
Сравнение РЛИ целей, скрытых в лесной растительности: слева – Ку-диапазон (длина волны – 2 см), поляризация ВВ, разрешение 15 см; справа – UHF диапазон (длина волны – 53 см), поляризация ВВ, разрешение 0,5 м



Рис. 5.
Система FORESTER на беспилотном вертолете
Boeing A160T (США)



Рис. 6.
PCA Mineseeker использовался объединенными
войсками KFOR в Косово

волновых и длинноволновых РЛИ. Коротковолновые РЛИ имеют квазиоптический характер с присущими боковому обзору радиолокационными тенями (в данном случае от деревьев). Яркая картина РЛИ искажена спекл-эффектом. Длинноволновое РЛИ значительно отличается, во-первых, отсутствием теней, так как волны VHF/UHF проходят через листву деревьев, а во-вторых, другой текстурой РЛИ, что связано с высоким пространственным разрешением, близким к длине волны зондирующего сигнала.

Разработкой и испытаниями подповерхностных PCA в США занимается ряд известных научно-исследовательских организаций (Sandia National Laboratories, SRI International, US Army Research Laboratory). В результате начального этапа экспериментальных исследований было установлено, что для интерпретации (дешифрирования) длинноволновых РЛИ требуются новые технологии, основанные на методе обработки change detection (обнаружение изменений) и учитывающие поляризационные особенности радиолокационного сигнала, проникающего в растительную среду. В ходе экспериментальных исследований было также установлено, что обнаруживать изменения на РЛИ следует в нескольких проходах при различных углах визирования и на разных высотах, в результате чего можно создавать трехмерные изображения целей, используя технологию реконструкции 3D РЛИ.

Дальнейшим развитием работ по обнаружению и распознаванию скрытых целей является программа FORESTER (FOPEN Reconnaissance, Surveillance, Tracking and Engagement Radar – радиолокационный комплекс для разведки и слежения за целями, скрытыми в растительности). В системе FORESTER используется радиолокатор VHF/UHF диапазона, позволяющий обнаруживать людей и транспортные средства под растительностью. PCA система FORESTER разработана для использования на беспилотном вертолете (БВ) A-160 (рис. 5) и прошла натурные испытания в различных условиях для подтверждения и отработки информационной технологии.

Подповерхностные PCA позволяют получить высокую производительность съемки и обнаружения подземных объектов. Однако глубина проникновения в подповерхностную среду сигнала у таких PCA ограничивается мешающими отражениями от поверхности, которые маскируют заглубленные цели. Типичное

значение глубины проникновения в сверхширокополосных PCA может достигать до 2–5 м, что позволяет использовать подповерхностные PCA в поисково-спасательных задачах, для обнаружения малоуглубленных военных целей, выявления минных полей, для различных гражданских применений (обнаружение нефтегазопроводов и пр.).

Типичными примерами авиационных подповерхностных PCA можно считать системы Mineseeker (Великобритания) и CARABAS II (Saab, Швеция). Первая система предназначена для обнаружения мин с воздуха. Система размещается на дирижабле и обеспечивает обнаружение мин со скоростью до 100 м²/с, в то время как саперы могут обеспечить обнаружение мин со скоростью до 40 м² в день. Для обнаружения мин PCA имеет очень высокое разрешение (порядка 5 см). Обзор местности с целью обнаружения мин осуществляется в три этапа – предварительный обзор, технический и завершающий обзор. На первом этапе производится сбор необходимой информации по обследуемому участку местности и ее анализ с целью выявления наиболее важных участков для второго этапа решения задачи. На втором этапе к анализу информации и процессу идентификации подозрительных объектов привлекаются специалисты, прошедшие необходимую подготовку. На данном

этапе производится маркировка участков, которые далее подлежат расчистке от мин и неразорвавшихся боеприпасов. Третий этап проводится совместно с бригадами саперов.

Система CARABAS-II работает в VHF диапазоне и использует зондирующий сигнал со спектром в пределах от 20 до 90 МГц (длины волн 3,3...15 м) с горизонтальной поляризацией. Разрешающая способность PCA может лежать в пределах от 3,3 до 15 м. Указанные параметры выбраны с целью обеспечения максимального проникновения радиолокационного сигнала под растительный покров и в земную поверхность.

По сравнению с космическими комплексами авиационные PCA расширяют возможности дистанционного зондирования Земли благодаря своим специфическим свойствам: возможности получения более высокого разрешения, возможности одновременного использования для съемок нескольких частотных диапазонов, возможности установки радиолокационной аппаратуры на малогабаритных БЛА, возможности обнаруживать различные объекты в растительности и под земной поверхностью. Все указанные особенности авиационных PCA делают их хорошим дополнением известным космическим PCA и значительно расширяют круг их возможного применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нейман П.И., Нейман И.С. Особенности построения и основные характеристики радиолокаторов с синтезированной апертурой. Часть 1. Космические PCA. Часть 2. Авиационные PCA. Научно-технический отчет ОАО «НИИ ТП», 2010.
2. M. Glaccum High Altitude Reconnaissance: Concepts for Complementary Manned and Unmanned Operations. SMI Conference, 1 March 2004, London, UK.
3. M. Murray Taking Reconnaissance to Taking Reconnaissance to Another Level Another. UAVs: The Way Ahead Sandia National Laboratories, Washington, October 2004. <http://www.sandia.gov>
4. A.R. Brenner, J.H. G. Ender Airborne SAR Imaging with Subdecimeter Resolution. Proceedings of EUSAR 2006.
5. H. Cantalloube, P. Dubois-Fernandez Airborne X-band SAR imaging with 10 cm resolution – Technical challenge and preliminary results. Proceedings of EUSAR 2004.
6. www.sandia.gov/radar/SAR
7. R.Horn, A.Nottensteiner, R.Scheiber, F-SAR – DLR's advanced airborne SAR system onboard DO228, Proceedings EUSAR-2008, Friedrichshafen, Germany, 2008.
8. P. Dubois-Fernandez, O. Ruault du Plessis, D. le Coz, J. Dupas, B. Vaizan, X. Dupuis, H. Cantalloube, C. Coulombeix, C. Titin-Schnaider, P. Dreuillet, JM. Boutry, JP. Canny, L. Kaisersmertz, J. Peyret, P. Martineau, M. Chanteclerc, L. Pastore, JP. Bruyant The ONERA RAMSES SAR system, Proc. IGARSS'02, Toronto, 2002.
9. Anti-Personnel Landmine Detection Technology Survey and Assessment. Wide-Area Detection in Support of Arm Control. Technical Report, March 1999. <http://www.estcp.org>
10. Unmanned Aircraft Systems (UAS) Roadmap, 2005-2030 (Appendix B, Sensors), <http://www.uav.ru>