УДК 623.746.-519+621.396.96

Состояние и перспективы создания многодиапазонных малогабаритных радиолокационных систем

Е.М. Ильин, В.Ю. Савостьянов, О.Ф. Самарин, А.Г. Черевко

Представлены результаты по созданию двухдиапазонной бортовой РЛС, показано, что создание масштабируемых БРЛС позволяет обеспечить многозадачность и многодиапазонность малогабаритных БРЛС приемлемой стоимости, что позволяет решать задачи оборонного характера, в том числе задачи, возникающие в локальных конфликтах, а также при борьбе с терроризмом.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, многофункциональная многодиапазонная малогабаритная масштабируемая радиолокационная система, РЛС.

1. Введение

Высокая востребованность в малогабаритных многофункциональных бортовых радиолокационных системах (МБРЛС) определяется в современном мире актуальностью решения задач разведки, наблюдения, распознавания и широкого спектра применения летательных аппаратов (ЛА) разных типов для гражданских и военных целей. При этом требования к функциональности военных и гражданских ЛА отличаются незначительно [1]. Основное отличие заключается в том, что применение ЛА в военных целях предполагает противодействие противника. Это характерно при использовании разведывательных ЛА, в том числе, как в локальных конфликтах, так и в условиях проведения антитеррористических операций.

2. Пути совершенствования средств борьбы с мобильными целями

Локальные конфликты и борьба с терроризмом повысили значимость задачи обнаружения и поражения меняющих позицию целей, а также мобильных целей. Эта боевая задача всегда относилась к разряду сложных. До настоящего времени основным средством борьбы с мобильными целями оставалась пилотируемая ударная авиация. Ударные авиационные комплексы способны обнаружить мобильную цель и осуществить пуск оружия после обнаружения и установления информационного контакта с атакуемой целью бортовыми информационными средствами (в большинстве случаев с использованием оптико-электронных средств, при участии лётчика-оператора на этапе обнаружения и распознавания цели). Время атаки относительно времени момента обнаружения определяется временем получения целеуказания и временем полёта самолета и ракеты к цели. Время целеуказания зависит от характеристик боевой системы, в рамках которой применяется оружие в соответствии с циклом информационного обеспечения и боевого управления, в том числе зависит от длительности

цикла обновления разведывательной информации, обработки и передачи целеуказания, схемы передачи целеуказания: перед вылетом самолета или оперативно в процессе полета и т.п. [2].

Недостатки существующих систем вооружения в локальных конфликтах во многом связаны с общесистемными факторами построения и организации функционирования системы информационного обеспечения и управления боевым применением современных видов оружия, в том числе факторами технической и функциональной несовместимости, необходимости унификации и стандартизации [3].

В локальных конфликтах условия обнаружения, свойства и информационные признаки для большинства целей носят экстремальный характер:

– большое число целей являются мобильными, что обостряет значимость временного фактора (временного запаздывания момента нанесения удара относительно момента обнаружения);
– информационные признаки целей могут быть достаточно низкими (в том числе с учетом возможности маскировки, затенения и экранирования, например рельефом), что связано с необходимостью широкого использования активных (в основном радиолокационных) разведывательных средств, а также соответствующих углов визирования;
– большинство целей могут находиться под прикрытием средств обороны противника (в том числе объектовых).

В этих условиях особое значение приобретают авиационные разведывательные средства, обеспечивающие информацией непосредственные боевые действия в заданном районе. Основным требованием при этом является необходимость высокой оперативности выдачи информации в виде, обеспечивающем немедленное применение ударных средств. Эффективным решением этой задачи является применение разведывательных и разведывательно-ударных беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Примером оперативно-тактических задач, решаемых БЛА, являются:

- дневное/ночное патрулирование по заданному маршруту;
- масштабное и точечное видеонаблюдение;
- обеспечение безопасности на суше и на море;
- точный мониторинг наземного и надводного пространства;
- обнаружение и контроль очагов экологических катастроф природного и техногенного происхождения (пожары, разливы нефти, прорывы нефте- и газопроводов и пр.);
- участие в поисково-спасательных операциях, мероприятиях при возникновении чрезвычайных ситуаций;
- охрана границ и территориальных вод;
- разведка судов и территорий;
- борьба с контрабандой;
- психологические операции;
- обнаружение и захват целей;
- управление огнём;
- картографическая и топографическая съёмка.

Основной информационной системой разведывательных и разведывательно-ударных БЛА является РЛС, обеспечивающая получение информации на больших дальностях в любое время суток, в том числе в сложных метеоусловиях. Важнейшим требованием к применяемой на борту БЛА РЛС является многофункциональность при обеспечении малых габаритов, массы и потребления электроэнергии [4].

Анализ задач и способов их решения при реализации требуемых режимов работы МБРЛС позволяет сделать вывод, что существуют базовые функции (процедуры, алгоритмы), на основе которых могут быть построены алгоритмы решения вышеупомянутых задач для авиационных комплексов различного назначения. Такими функциями являются картографирование, селекция наземных движущихся целей, измерение наклонной дальности

и трёхмерная обработка информации (по метеообразованиям, рельефу местности и т.д.). Наиболее сложными задачами, которые нужно решать пилоту или оператору с помощью МБРЛС, являются задачи обнаружения и распознавания некоторых процессов и динамики их развития. Такими задачами могут быть, например, обнаружение и распознавание группировок террористов и их действий. При этом необходимо выполнить обнаружение неподвижных, в том числе скрытых, подвижных объектов, их взаимных перемещений, проведение наблюдения участков местности. Проведение сравнительного анализа полученной информации, что может быть эффективно выполнено при использовании комплексов с БЛА, позволяет решить сформулированную выше задачу. Подобные задачи должны решать также поисково-спасательные и патрульные самолёты и вертолёты [5, 6].

3. Многофункциональная многодиапазонная малогабаритная масштабируемая радиолокационная система

Учитывая современные требования к наращиванию функций разведывательных радиолокационных систем летательных аппаратов, к повышению точности и надежности решаемых задач при ограниченных габаритах аппаратуры, актуальной задачей является создание многофункциональной многодиапазонной малогабаритной масштабируемой радиолокационной системы [7].

В радиолокационной системе, защищённой патентом RU 2496120 C2 МПК *G01S 13/00* (патентообладатель – ОАО «Корпорация «Фазотрон-НИИР»), решена задача построения такой радиолокационной системы. Решение поставленной задачи достигается тем, что предлагаемая РЛС (см. рис. 1) содержит i, $i = \overline{1,N}$ радиочастотных модулей (РЧМ) различных диапазонов длин волн, соединённых с БЦВМ посредством мультиплексного канала информационного обмена (МКИО1) и последовательного высокоскоростного интерфейса (типа точка-точка).

Каждый РЧМ состоит из антенного модуля, содержащего волноводно-щелевую антенную решётку (ВЩАР) и привод, передатчика, циркулятора и приёмозадающего модуля, содержащего четырёхканальный сверхвысокочастотный приёмник (СВЧ-приемник), цифровой приемник (ЦПРМ), а также цифровой синтезатор частот и синхросигналов управления (СЧС).

Построение многофункциональной радиолокационной системы производится на основе применения современных цифровых методов и устройств передачи, приема и обработки сигналов и программного обеспечения (ПО) реального времени. Это позволило создать малогабаритные с высокой степенью интеграции радиочастотные модули, которые в составе радиолокационной системы связаны интерфейсами информационного обмена и практически не имеют ограничений по взаимному размещению.

Предлагаемая радиолокационная система связана с бортовым радиоэлектронным оборудованием (БРЭО) и датчиками системы навигации летательного аппарата управляющим интерфейсом МКИО2 (на рис.1 не показан).

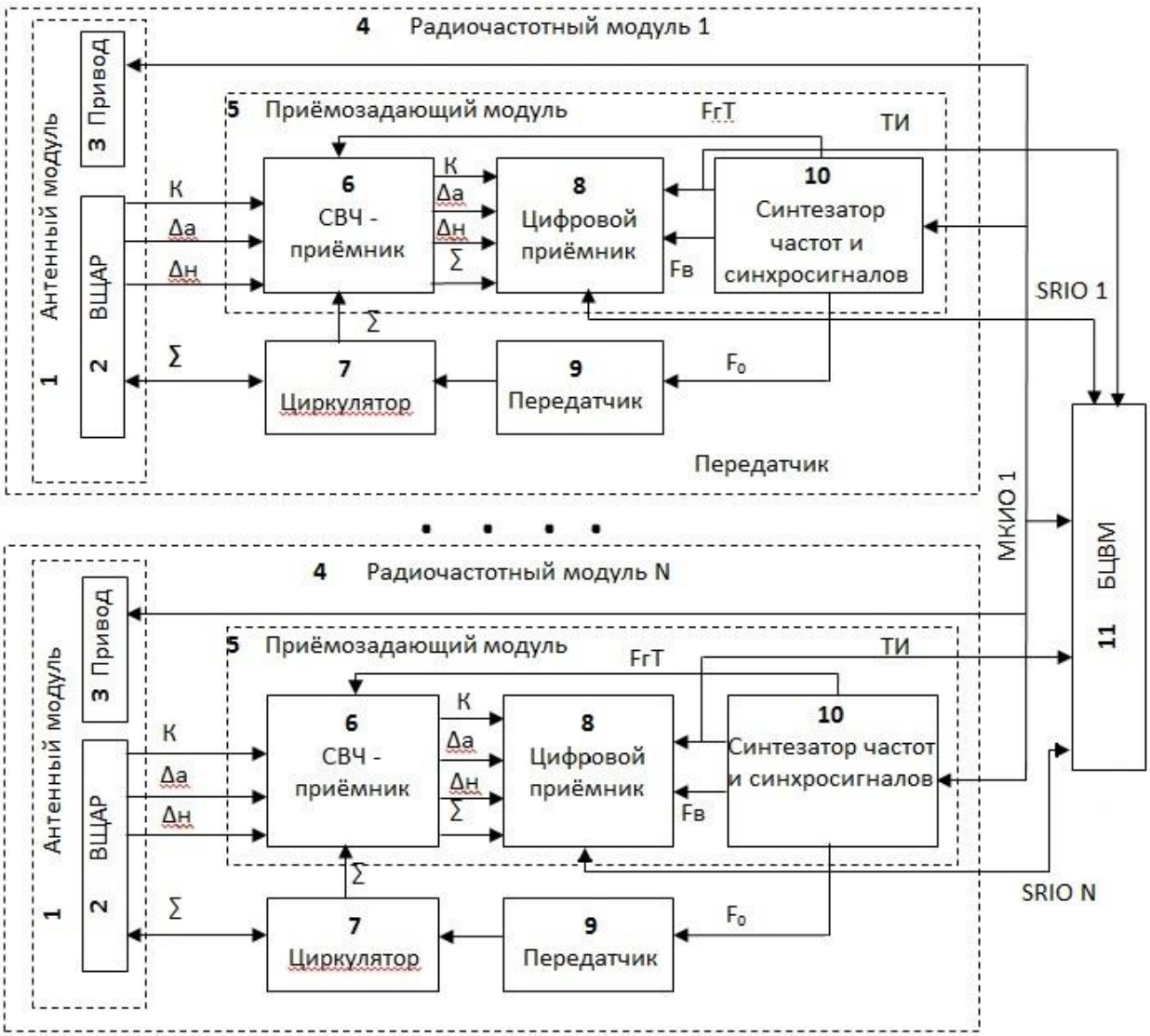

Рис. 1. Многофункциональная многодиапазонная малогабаритная масштабируемая РЛС

3.1. Двухдиапазонная многофункциональная малогабаритная БРЛС

В соответствии с изложенными в изобретении принципами построения разработана и изготовлена двухдиапазонная (Kα- и X-диапазонов длин волн) многофункциональная малогабаритная БРЛС. Общий вид РЧМ Kα- и X-диапазонов приведён на рис. 2 и 3 соответственно.

Миллиметровый канал рассматриваемой двухдиапазонной МБРЛС может обеспечить получение высокого разрешения – до 0.1 м. Дальность обнаружения наземных и надводных объектов составляет до 25…35 км, воздушных объектов – до 10…15 км, метеообразований – до 100…150 км. Измерение наклонной дальности обеспечивается до 5…8 км.

Этот диапазон наиболее эффективен для обнаружения и наблюдения за малоразмерными объектами в урбанизированной местности при преобладании ясной погоды. Однако при наличии даже небольшого дождя (с интенсивностью от 0.25 мм/ч) дальность действия МБРЛС по наземным и воздушным объектам резко снижается. Кроме того, реализовать линейное разрешение лучше 0.25 м достаточно сложно.

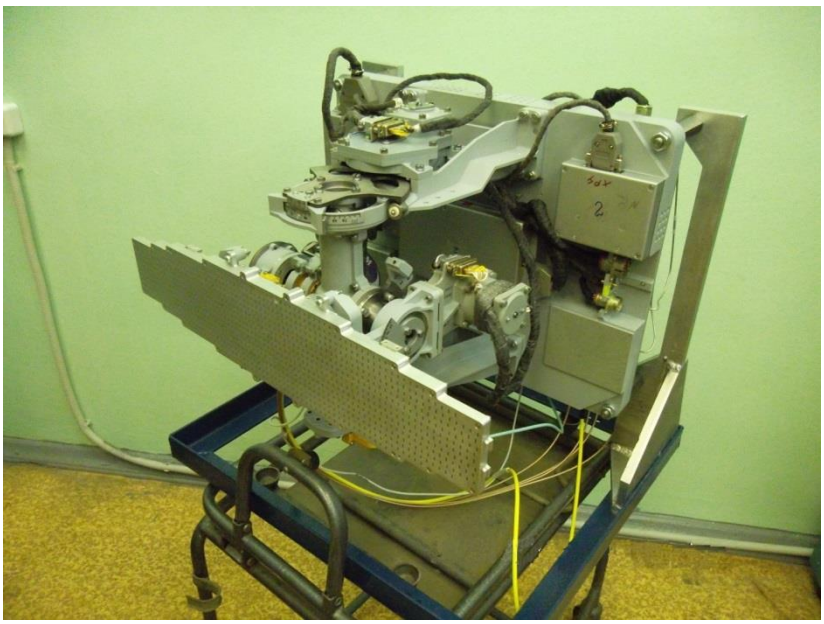

Рис. 2. Радиочастотный модуль K_α диапазона

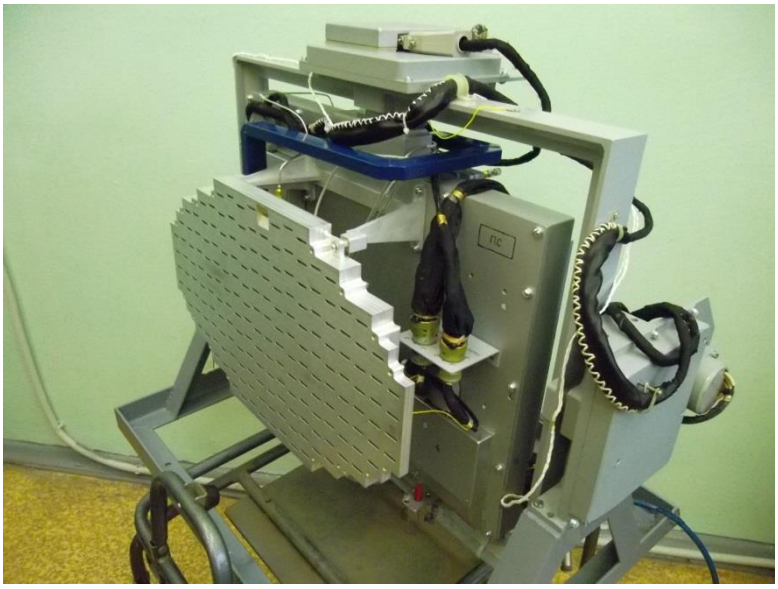

Рис. 3. Радиочастотный модуль X-диапазона

Сантиметровый канал МБРЛС может обеспечить обнаружение и наблюдение за различными объектами (включая морские) при разрешении от 0.5 м. Дальность обнаружения наземных и надводных объектов составляет до 100…150 км, воздушных – до 50…60 км, метеообразований – до 400…450 км. Измерение наклонной дальности обеспечивается до 12…15 км. При этом обнаружение объектов может осуществляться при наличии дождя с интенсивностью до 2…4 мм/ч.

Приведенный анализ показывает, что представленная двухдиапазонная система, имея высокие показатели по разрешению и дальности действия, не обеспечивает высокое разрешение на требуемых дальностях в условиях атмосферных осадков.

3.2. Многофункциональная многодиапазонная малогабаритная масштабируемая БРЛС

Указанные недостатки можно исключить, увеличив число диапазонов многофункциональной бортовой радиолокационной системы [8, 9]. Как показывают расчёты, использование Ku-диапазона может обеспечить разрешение 0.25…0.3 м при наличии дождя с интенсивностью 2…4 мм/ч на приемлемых дальностях. Более того, дальность обнаружения наземных и надводных объектов в Ku-диапазоне может составить 50…70 км, воздушных целей – 30…40 км, метеообразований – до 200…250 км. Измерение наклонной дальности обеспечивается до 8…12 км. Дальность действия снижается несущественно при наличии дождя с интенсивностью до 0.5…1 мм/ч.

Достоинством предлагаемой архитектуры многодиапазонной МБРЛС является масштабируемость. Масштабируемость – это свойство архитектуры РЛС, характеризующее её способность гибко изменять топологию для удовлетворения возрастающих требований по мере развития, совершенствования системы и при её модернизации. Если РЛС обладают высокой степенью масштабируемости, то при включении в её состав новых элементов сложность РЛС возрастает незначительно. Из этого следует, что введение в состав МБРЛС дополнительного канала Ku-диапазона или замена канала Ка- на канал Ku-диапазона не потребует дополнительных ресурсов.

Предлагаемая архитектура РЛС и построение описанных устройств обеспечивают получение широких информационных возможностей, высоких разрешения и точности за счет формирования сложных широкополосных зондирующих сигналов и последующей предварительной, первичной и вторичной обработки принимаемых сигналов.

Структура обработки принимаемой радиолокационной (РЛ) информации практически одинакова для всех режимов работы МБРЛС. На рис. 4 эта структура приведена в обобщённом виде на примере реализации ПО в двухъядерном микропроцессоре вычислителя. Она включает в себя три основных вычислительных потока – управления режимом, первичной и вторичной обработки РЛ информации, – первые два из которых функционируют в реальном времени и синхронизируются с работой блоков МБРЛС, а последний, выполняя оконечную обработку данных, синхронизируется с остальными потоками алгоритмически. В связи с этим потоки управления и первичной обработки реализуются на ядре 1 и синхронизируются внешними прерываниями по тактовым импульсам МБРЛС, а поток вторичной обработки – на ядре 2 с синхронизацией по готовности (событиям).

4. Заключение

Решение задач оборонного характера, в том числе задач, возникающих в локальных конфликтах, а также при борьбе с терроризмом, требует создания и внедрения многозадачных бортовых локационных систем ЛА. При классической структуре это приводит к недопустимому росту массогабаритных характеристик и стоимости РЛС. Как показывает настоящая работа, создание масштабируемых БРЛС позволяет обеспечить многозадачность и многодиапазонность при разработке малогабаритных бортовых радиолокационных систем приемлемой стоимости.

Литература

1. *Peter van Blyenburgh.* UAS: The global Perspective [Электронный ресурс]. URL: http://uvs-international.org/phocadownload/01_5_Presentations_by_UVSI/101_UAS-Nordic-Conference_Norway_nov-2009_UAS--The-global-perspective.pdf (дата обращения: 10.02.2015).
2. *Pete Bonanni.* Art of the kill. A comprehensive guide to modern air combat. Spectrum Holo-Byte. 1991.
3. Standardisation Systems in the Defence Industries of the European Union and the United States. Final Report submitted to: European Commission, Directorate General III. 1991.
4. *Yohandri, Wissan V., Firmansyah I., Rizki Akbar P., Sri Sumantyo J.T., Kuze H.* Development of circularly polarized array antenna for synthetic aperture radar sensor installed on UAV. // 2011. Progress in electromagnetic research C. V. 19. P. 119–133.
5. *Neto M. J. M., A. da Paixao R., Rodrigues L. R. L., Moreira E. M., Joao Carlos Jose dos Santos, Paulo Fernando F. Rosa* A Surveillance Task for a UAV in a Natural Disaster Scenario // Industrial Electronics (ISIE). 2012. P. 1516–1522.
6. *Alastair Ruffell, Jamie K. Pringle, Shari Forbes* Search protocols for hidden forensic objects beneath floors and within walls // Forensic Science International. 2014. № 237. P. 137–145.
7. *van Rossum W. L., Lievers C. M., Maas A. P. M., Huizing A. G.* Suppression of sidelobe scatterers in an AESA FMCW radar // Radar Conference. 2008. P. 1–5.
8. Principles of Modern Radar. Vol. III: Radar Applications / W. L. Melvin, J. A. Scheer – Edison, NJ.: SciTech Publishing. 2014. P. 793.
9. *Huizing A. G., Otten M. P. G., van Rossum W. L., van Dijk R., Maas A. P. M., van der Houwen E. H., Bolt R. J.* Compact Scalable Multifunction RF Payload for UAVs with FMCW Radar and ESM Functionality [Электронный ресурс]. URL: http://www.researchgate.net/ publication/224127227_Compact_scalable_multifunction_RF_payload_for_UAVs_with_FMCW_radar_and_ESM_functionality (дата обращения: 10.02.2015).

Статья поступила в редакцию 23.03.2015

Ильин Евгений Михайлович
д.ф.-м.н., профессор, ведущий аналитик инновационного технологического центра комплекса научной политики МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. 8-910-433-27-89,
e-mail: evgil45@mail.ru

Савостьянов Владимир Юрьевич
к.т.н., доцент, начальник лаборатории ОАО «Корпорация «Фазотрон-НИИР» (123557, Москва, Электрический переулок, 1), тел. (495) 955-1100, e-mail: info@phasotron.com

Самарин Олег Федорович
к.т.н, с.н.с., начальник НИО ОАО «Корпорация «Фазотрон-НИИР» (123557, Москва, Электрический переулок, 1), тел. 8-916-447-94-06, e-mail: nio6.fazotron@yandex.ru

Черевко Александр Григорьевич
к.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой физики, заведующий лабораторией физических основ телекоммуникаций ФГОБУ ВПО «СибГУТИ» (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), тел. 8-913-980-60-71, e-mail: persp14@mail.ru

Current status and prospects of creating a small multi-band radar systems

Eugene M. Il'yin, Vladimir Yu. Savost'yanov, Oleg F. Samarin, Alexander G. Cherevko

The results for creation a dual-band radar are presented. It is shown that the creation of scalable radar allows for multi-tasking and multi-band radar small acceptable cost that can solve the challenges of a defensive nature, including problems arising in local conflicts, as well as the fight against terrorism.

Keywords: drone aircraft, space-saving multifunction scalable multi-band radar system, the radar.