

УДК 621.396.965

Методы обзора пространства в современных многофункциональных РЛС

Скосырев В. Н.^{1,*}

[*shumov@mail.ru](mailto:shumov@mail.ru)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассматриваются два варианта обзора пространства в угломестной плоскости в РЛС твердотельными активными ФАР. Приведены функциональные схемы РЛС с твердотельными АФАР. Функциональные различия схем заключаются в использовании в одном из вариантов приемопередающих модулей при формировании диаграммы направленности антенны в угломестной плоскости. Обсуждаются достоинства и недостатки каждого из рассматриваемых вариантов. Отмечаются особенности, возникающие при необходимости сканирования луча в двух плоскостях при формировании диаграмм направленности в широком секторе обзора.

Ключевые слова: радиолокация, многофункциональная РЛС, обзор пространства, фазированная антенная решетка активная, зондирующий сигнал

Введение

В последние годы наметилась устойчивая тенденция по созданию многофункциональных радиолокационных систем (МФРЛС) как военного, так и гражданского применения. Обусловлено это в военной сфере изменениями помехово-целевой обстановки. Опыт последних локальных конфликтов показал, что в составе средств воздушного нападения применяются как высотные скоростные цели, так и разнообразные низковысотные цели. Поэтому в современных РЛС требуется выдавать информацию с высоким темпом как о высотных, так и о маловысотных скоростных и малоскоростных целях. В соответствие с запросами потребителей большинство современных МФРЛС, наряду с задачей обнаружения и сопровождения целей, должны обеспечивать целеуказание (ЦУ) для средств поражения, в том числе по малоразмерным целям на фоне интенсивных мешающих отражений от подстилающей поверхности и местных предметов. В этих условиях наиболее успешно задача обнаружения решается на основе методов доплеровской селекции [1, 2] при различных типах зондирующих сигналов (ЗС). Но при любых видах ЗС в этих условиях требуется достаточно продолжительный радиолокационный контакт с целью. Это затрудняет реализацию высокого темпа обзора пространства в широком диапазоне углов места (типично от минус 5 до 60-80 градусов) и азимута (до 360 градусов), как это требуется для широкого класса современных МФРЛС. С другой стороны, анализ развития средств ра-

диотехнической разведки (РТР) [3] и средств поражения РЛС (ПРР) показывает, что среди различных методов повышения живучести наиболее рациональными остаются мобильность и снижение электромагнитной заметности [4]. В решение последней задачи значительный вклад вносит правильная организация обзора пространства, а так же тип и параметры применяемых зондирующих сигналов (ЗС).

Созданные к настоящему времени научно-технические и проектно-технологические решения, элементная база [5], в первую очередь, твердотельных СВЧ устройств [6], цифровая и вычислительная техника, позволяют создавать современные МФРЛС, обеспечивающие решение большинства из указанных выше проблем создания МФРЛС. Анализируя выше сказанное можно утверждать, что в современных условиях для значительного класса МФРЛС требуется оптимизация методов обзора пространства, удовлетворяющих запросы большинства потребителей, при сохранении высокой помехозащищённости и скрытности. Поэтому в настоящей статье, в порядке дискуссии предлагается сравнение некоторых подходов к решению задачи обзора пространства в современных МФРЛС, с опорой на достигнутые успехи в элементной базе и аппаратных решениях на их основе.

Наиболее успешное решение перечисленного выше сложного перечня задач обеспечивают РЛС с антенной системой на базе фазуруемых антенных решеток (ФАР) с одномерным и двумерным электронным сканированием лучом диаграммы направленности антенны (ДНА). Причем, в последние годы все чаще разрабатываются МФРЛС с твердотельными активными ФАР (АФАР) [7]. Применение твердотельных АФАР обеспечивает высокий ресурс и надежность, а также адаптивное формирование ДНА на прием и передачу. Однако в связи с еще достаточно высокой стоимостью основного элемента АФАР – твердотельного приемно-передающего модуля (ППМ), МФРЛС с двумерным электронным сканированием применяются в основном в РЛС ЗРК ПВО-ПРО и в ряде корабельных РЛС. Более широкое применение в отечественных и зарубежных РЛС находят РЛС с ФАР с одномерным (по углу места) электронным сканированием. Несмотря на опыт, приобретенный при эксплуатации РЛС с твердотельными АФАР, остается еще достаточно большой круг малоизученных технических проблем, а используемые для их решения пути и методы не бесспорны. Один из них – реализация обзора пространства в угломестной плоскости в МФРЛС кругового обзора.

1. Основная часть

В современных МФРЛС обзор пространства (360° по азимуту и $-5^\circ \dots 80^\circ$ по углу места) должен осуществляться с темпом 1...3 с при однозначном и высокоточном измерении угловых координат и дальности. Требуется также высокая помехозащищенность от активных и пассивных помех.

Такой показатель как высокая угловая точность достигается, в первую очередь, при узкой диаграмме направленности антенны (ДНА). Но для этого даже в сантиметровом диапазоне требуется антенная система со значительной апертурой. Так, в диапазоне 3...6 см, в котором по ряду причин наиболее целесообразно создавать рассматриваемые МФРЛС, с учетом выполнения требования по мобильности, размер апертуры антенны

обычно не превышает 2×2 м. Такие габариты антенной системы позволяют сформировать главный луч ДНА $1,2^\circ \dots 0,9^\circ$. Понятно, что в РЛС с дальностью обнаружения 150 км обеспечить высокий темп обзора пространства по азимуту в 360° , например, в 2 секунды на обзор, и реализовать при этом для каждого азимутального направления угломестный сектор сканирования от -5° до 80° лучом примерно $1^\circ \times 1^\circ$ за счет электронного сканирования в угломестной плоскости практически невозможно, даже при отсутствии доплеровской селекции. Данную проблему чаще всего решают за счет расширения луча ДНА в вертикальной плоскости [8] по мере увеличения угла места обзора в угломестной зоне. В РЛС предыдущих поколений чаще всего применялись лучи ДНА одинаковой ширины на приём и передачу. Однако успехи в цифровой технике стимулировали другой подход – на передачу формируется ДНА, перекрывающие весь сектор ответственности по углу места, а на прием ДНА формируется в спецвычислителе (СВ) по результатам обработки сигналов, оцифрованных после отдельных каналов антенного полотна. На рис. 1 приведен в качестве примера фрагмент функциональной схемы РЛС с твердотельной АФАР. Антенная система выполнена в виде плоской решетки с цифровым диаграммообразованием. На рис. 2 приведен фрагмент укрупненной функциональной схемы РЛС с твердотельной АФАР той же конфигурации, что и первая РЛС. Однако обзор по углу места осуществляется узким лучом ДНА на прием и передачу за счет электронного сканирования с помощью фазовращателей, установленных в ППМ.

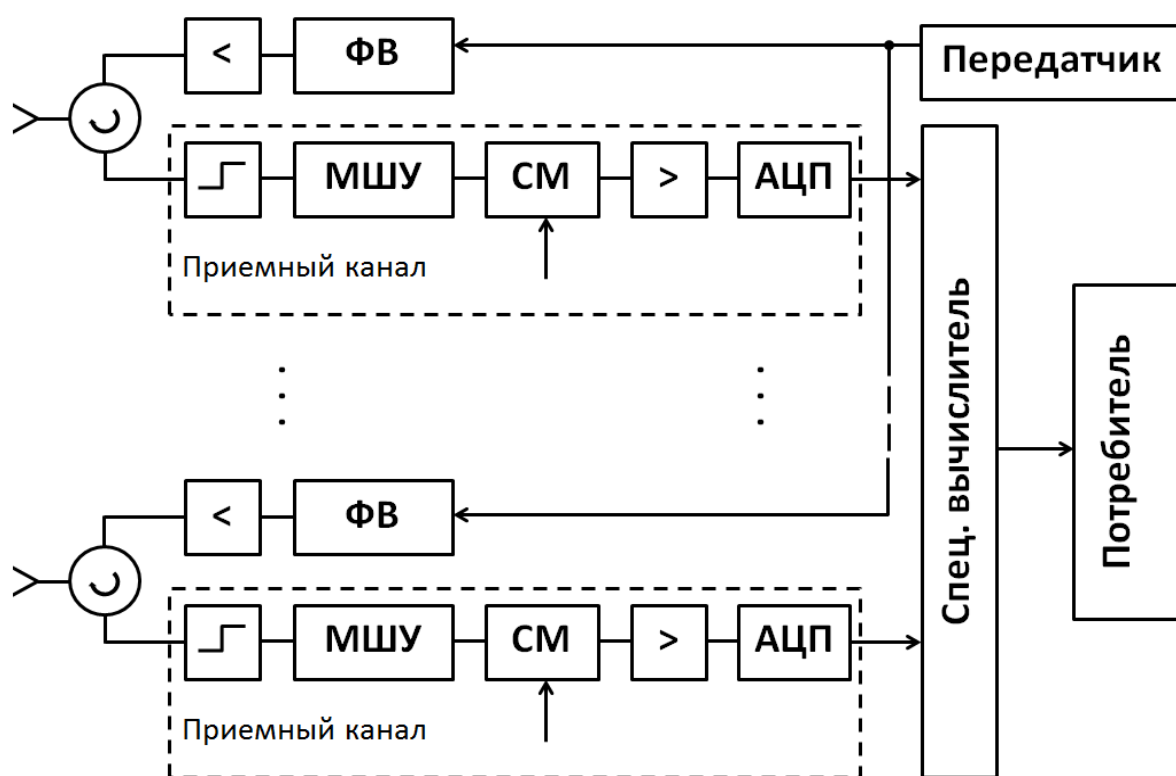


Рис. 1. Функциональная схема РЛС с твердотельной АФАР (при формировании на передачу луча ДНА на весь сектор по углу места)

эти особенности. Большинство МФРЛС наземного и корабельного базирования функционируют на позициях, где находится значительное количество местных предметов (МП). Поскольку МФРЛС, как правило, должны обеспечивать зону обзора и сопровождения целей до минимальной (100 м) дальности, а так же под малыми, в том числе под отрицательными углами места, в этих условиях сигналы, отраженные от подстилающей поверхности и МП, оказывают значительное мешающее воздействие во всех приемных каналах.

Мешающие сигналы от местных предметов и подстилающей поверхности приводят к снижению отношения «сигнал - помеха» и обуславливают необходимость фильтрации помеховых сигналов практически во всех угломестных каналах. Особенно сложная ситуация с мешающими сигналами от подстилающей поверхности складывается при работе РЛС в условиях степной и пустынной местности с неравномерным рельефом (Казахстан, Китай, Ближний Восток). Для качественной селекции от мешающих сигналов, отраженных от местности, приходится использовать квазинепрерывные импульсные (КНИ) ЗС, что увеличивает время просмотра азимутального сектора по сравнению с случаем применения ЗС с однозначной дальностью. С учетом того, что на прием и передачу ДНА по углу места слабонаправленные, то для обеспечения требуемых рубежей обнаружения возникает необходимость в увеличении коэффициента когерентного накопления при приеме. Мешающие сигналы снижают оценку угловых координат. При таком построении РЛС обзор необходимо выполнять ЗС, обеспечивающими обнаружение, всегда считаясь с отражениями от подстилающей поверхности и МП, т.е. ЗС с малой скважностью. Однако такой режим сложен для твердотельных АФАР.

Иная ситуация при применении АФАР с одномерным угломестным электронным сканированием узким по углу места лучом ДНА. В этом варианте в наиболее тяжелых помеховых условиях находится только один или несколько лучей ДНА под нулевым (или отрицательным) углом места. Остальные лучи угломестной ДНА испытывают существенно меньшее воздействие мешающих сигналов отраженных от подстилающей поверхности и местных предметов. Уровень этого воздействия определяется величиной боковых лепестков ДНА в угломестной плоскости, и для рассматриваемого примера ДНА с главным лучом $1^\circ \times 1^\circ$ является небольшим (менее 20 дБ.) В таких РЛС необходимо применять ЗС с высокими селективными свойствами, как правило, в одном или нескольких нижних угломестных лучах, а в остальных можно применять ЗС с однозначной дальностью с достаточно большой скважностью. Это, в свою очередь, снижает тепловую нагрузку на АФАР. Кроме этого, поскольку по мере увеличения угла места снижается требуемый рубеж обнаружения, то снижается требуемая плотность энергии облучения цели и, следовательно, увеличивается темп обзора, например, за счет расширения луча ДНА в угломестной плоскости.

Немаловажным фактором является уменьшение при данном варианте метода обзора пространства количества приемных каналов, что весьма существенно при применении различных ветвей технологии сверхширокополосных сигналов (СШС), поскольку широкополосная элементная база еще достаточно дорога. Однако применение различных типов

СШС как с внутриимпульсной модуляцией, так и СКРЛ [12] повышает информативность, что позволяет реализовать высокие селективные свойства от пассивных помех и реализовать режим распознавания по радиолокационному дальностному портрету.

Заключение

Опираясь на тенденции развития и совершенствования помехоцелевой обстановки и научно-технического прогресса в ряде радиолокационных технологий, рассмотрены некоторые подходы к организации процесса обзора пространства в современных МфРЛС. Освещены особенности организации обзора пространства на примере двух вариантов построения МфРЛС. Из рассмотренных двух методов организации обзора пространства в МфРЛС более предпочтителен обзор в угломестной плоскости лучом ДНА с высокой направленностью и электронным сканированием. Данный метод более предпочтителен с точки зрения помехозащиты от пассивных и активных помех, а также снижения электромагнитной заметности.

Статья выпущена в рамках НИОКТР "Реализация комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства радиолокационного комплекса для системы управления воздушным движением с удаленной диспетчеризацией", выполняемой МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ОАО "РТИ" в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, в целях реализации постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», при финансовой поддержке по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986. 286 с.
2. Трухачёв А.А. Радиолокационные сигналы и их применения. М.: Военное издательство, 2005. 320 с.
3. Куприянов А.И., Шустов Л.Н. Радиоэлектронная борьба. Основы теории. М.: Вузовская книга, 2011. 800 с.
4. Куприянов А.И., Сковырев В.Н. Скрытость сверхширокополосных радиолокационных импульсных сигналов // Технологии ЭМС. 2009. № 2. С. 13-18.
5. Скосырев В.Н., Усачёв В.А. Технические пути повышения энергетического потенциала радиолокаторов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2009. Спец. вып. Антенны и устройства радио- и оптического диапазонов. С. 78-89.
6. НПФ «Микран»: сайт компании. Режим доступа: <http://www.micran.ru> (дата обращения 18.12.2014).

7. Воскресенский Д.И., Канащенков А.И. Активные фазированные антенные решетки. М.: Радиотехника, 2004. 488 с.
8. Слюсар В.И. Цифровые антенные решетки: будущее радиолокации // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2001. № 3. С. 42-46.
9. Zhao Shuqing, Liu Yongtan, Duan Fengzeng. Digital Beamforming in the OTH Radar // Proc. ICSP'90. Beijing, 1990. P. 655-656.
10. Петухов С., Шестов И. История создания и развития вооружения и военной техники ПВО сухопутных войск России. М.: Изд-во «ВПК», 1999. 257 с.
11. РЛС 59Н6-Е «Противник-ГЕ» // Вестник ПВО: сайт. Режим доступа: <http://pvo.guns.ru/rtv/protivnik.htm> (дата обращения 01.11.2014).
12. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. М.: Радиотехника, 2010. 144 с.
13. Евстропов Г.А., Иммореев И.Л. Цифровые методы формирования диаграмм направленности приёмных антенных решеток // Проблемы антенной техники / под ред. Л.Д. Бахраха, Д.И. Воскресенского. М.: Радио и связь, 1989. С. 88-107.
14. Скосырев В.Н., Осипов М.Л. Особенности и свойства короткоимпульсной радиолокации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 1999. № 4. С. 21-30.
15. Ananenkov A.E., Skosyrev V.N., Konovaltsev A.V., Nuzhdin V.M., Rastorguev V.V. Multi-functional aerodrome control radar by USPR technology // Proc. of the 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014) (St. Petersburg, Russia, 7-12 September 2014). In 6 vols. Vol. 1. International Council of Aeronautical Sciences-ICAS, 2014. Art. no. ICAS2014_0146. P. 3867-3873.

Radar Scan Methods in Modern Multifunctional Radars

V.N. Skosyrev^{1,*}

^{*}shum_ov@mail.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: radar, multifunctional radar, scan method, active phased array antenna, pilot signal

Considered urgent task of organizing the review space in modern multifunctional radar systems shall review the space in a wide range of elevation angles from minus 5 to 60-80 degrees and 360 degrees azimuth. MfRLS this type should provide an overview of the zone for a limited time (2-3 sec), detecting a wide range of subtle high and low-flying targets. The latter circumstance requires the organization to select targets against the background of reflections from the underlying surface and local objects (MP). When providing an overview of the space taken into account the need to increase not only the noise immunity, and survivability

Two variants of the review of space in the elevation plane in the solid-state AESA radar. In the first case the overview space narrow beam by one beam. In the second - the transfer of DNA is formed, covering the whole sector of responsibility in elevation and at the reception beam is formed in spetsvychislitele (CB) as a result of the signal processing of digitized after emitters antenna web. The estimations of the parameters specific to the multifunction radar SAM air and missile defense. It is shown that in a number of practically important cases, preference should be given clearly one of the methods described review of space.

The functional scheme with AESA radar for both variants of the review. Necessary to analyze their differences. Contains the problem of increasing the cost of MfRLS with digital beamforming DNA with increasing bandwidth probing signal being processed

Noted drawbacks of MfRLS with digital beamforming beam. Including: reduced accuracy of the coordinates at low elevation angles, the complexity of the organization of thermal regime of the solid element base using quasi-continuous signal with a low duty cycle. Shows their fundamentally unavoidable in the steppe and desert areas with uneven terrain (Kazakhstan, China, the Middle East)

It is shown that for MfRLS working in strong clutter, more preferably overview in elevation plane ray beam with high directivity and electronic scanning. This method is preferable from the viewpoint of the anti-jamming passive and active interference, as well as reducing electromagnetic visibility.

References

1. Bakulev P.A., Stepin V.M. *Metody i ustroystva selektsii dvizhushchikhsya tseley* [Methods and devices moving targets selection]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1986. 286 p. (in Russian).
2. Trukhachev A.A. *Radiolokatsionnye signaly i ikh primeneniya* [Radar signals and their applications]. Moscow, Military Publishing House, 2005. 320 p. (in Russian).
3. Kupriyanov A.I., Shustov L.N. *Radioelektronnaya bor'ba. Osnovy teorii* [Electronic warfare. Fundamental of theory]. Moscow, Vuzovskaya kniga Publ., 2011. 800 p. (in Russian).
4. Kupriyanov A.I., Skovyrev V.N. Ultrawideband pulse radar signals security. *Tekhnologii EMS*, 2009, no. 2, pp. 13-18. (in Russian).
5. Skosyrev V.N., Usachev V.A. Technical Ways for Increasing Energy Potential of Radars. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument Engineering*. 2009, spec. iss. *Antenny i ustroystva radio- i opticheskogo diapazonov* [Antennas and devices of radio and optical bands], pp. 78-89. (in Russian).
6. Micran, Research & Production Company: company website. Available at: <http://www.micran.ru>, accessed 18.12.2014. (in Russian).
7. Voskresenskiy D.I., Kanashchenkov A.I. *Aktivnye fazirovannye antennye reshetki* [Active phased array antennas]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2004. 488 p. (in Russian).
8. Slyusar V.I. Digital Antenna Arrays. The Future of the Radar. *Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes = Electronics: Science, Technology, Business*, 2001, no. 3, pp. 42-46. (in Russian).
9. Zhao Shuqing, Liu Yongtan, Duan Fengzeng. Digital Beamforming in the OTH Radar. *Proc. ICSP'90*. Beijing, 1990, pp. 655-656.
10. Petukhov S., Shestov I. *Istoriya sozdaniya i razvitiya vooruzheniya i voennoy tekhniki PVO sukhoputnykh voysk Rossii* [History and development of weapons and military equipment of air defense of ground troops Russia]. Moscow, VPK Publ., 1999. 257 p. (in Russian).
11. RLS 59N6-E "Protivnik-GE". *Vestnik PVO: website*. Available at: <http://pvo.guns.ru/rtv/protivnik.htm>, accessed 01.11.2014. (in Russian).
12. Grigor'ev L.N. *Tsifrovoe formirovanie diagrammy napravlenosti v fazirovannykh antennykh reshetkakh* [Digital beamforming in phased array antennas]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2010. 144 p. (in Russian).
13. Evstropov G.A., Immoreev I.L. Tsifrovye metody formirovaniya diagramm napravlenosti priemnykh antennykh reshetok [Receiving antenna arrays digital techniques beamforming]. In: Bakhrakh L.D., Voskresenskiy D.I., eds. *Problemy antennoy tekhniki* [Problems of antenna technology]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1989, pp. 88-107. (in Russian).
14. Skosyrev V.N., Osipov M.L. Characteristics and properties of the short-pulse radar. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument Engineering*, 1999, no. 4, pp. 21-30. (in Russian).
15. Ananenko A.E., Skosyrev V.N., Konovaltsev A.V., Nuzhdin V.M., Rastorguev V.V. Multi-functional aerodrome control radar by USPR technology. *Proc. of the 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014)*, St. Petersburg, Russia, 7-12 September 2014. In 6 vols. Vol. 1. International Council of Aeronautical Sciences- ICAS, 2014, art. no. ICAS2014_0146, pp. 3867-3873.