

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>
Выпуск 6 (25) 2014 ноябрь – декабрь <http://naukovedenie.ru/index.php?p=issue-6-14>
URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN614.pdf>
DOI: 10.15862/74TVN614 (<http://dx.doi.org/10.15862/74TVN614>)

УДК УДК 534.222:629.127.4

Алифанов Роман Николаевич

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»
Россия, Владивосток¹
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: gidra_518@mail.ru

Стародубцев Павел Анатольевич

Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота
«Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»
Филиал Владивосток
Россия, Владивосток
Заведующий кафедрой Физики (и ОТД)
Доктор технических наук, профессор
E-mail: spa1958@mail.ru

Дементьев Сергей Геннадьевич

Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота
«Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»
Филиал Владивосток
Россия, Владивосток
Кафедра радиоэлектроники
Старший преподаватель
E-mail: sergei_1dem@mail.ru

Дементьев Сергей Сергеевич

Войсковая часть 2459
Россия, Владивосток
Аспирант
E-mail: sergei_1dem@mail.ru

Системы общедоступного радиовещательного передатчика для обнаружения и сопровождения цели

¹ 690087 Г. Владивосток Ул. Луговая 52В – 501

Аннотация. Результаты и технологии современного многофункционального наземно-воздушного боя показывает, что противовоздушная оборона стратегически важных объектов, построенная на базе активной радиолокации, является в настоящее время малоэффективной по обнаружению, в первую очередь, самолетов и мало живучей. Это заставило разработчиков активных радиолокационных средств обратить самое пристальное внимание на пассивную радиолокацию.

Главной отличительной чертой пассивной радиолокации является высокая техническая скрытность и защищенность по отношению к средствам радиоэлектронной борьбы, а так же очень значительная боевая и эксплуатационная живучесть.

Для разработки технологических основ пассивной радиолокации разработчиками стали использоваться многие технологии и методы обработки информации, ранее применявшиеся только в какой-то одной области, например, в сотовой связи.

Из всего многообразия тенденций, технологий и методов, наиболее важной, в развитии современной пассивной радиолокации, является технология перехода к многоканальным и многопозиционным радиолокационным станциям с целью увеличения объема и скорости обработки радиолокационной информации. Эта тенденция получила особенно интенсивное развитие после появления различных видов антенных решеток, в том числе и с синтезированной апертурой.

Проведенный анализ всех тенденций развития пассивной радиолокации показал, что в странах НАТО большое внимание уделяется созданию перспективных наземных многочастотных многопозиционных систем, обладающих уникальными возможностями не только по обнаружению, но и управлению воздушным движением самолетов военной и гражданской авиации.

Ключевые слова: пассивные радиолокационные системы; сигналы широкополосных телевизионных или УКВ радиопередатчиков; гиперболическое позиционирование.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Алифанов Р.Н., Стародубцев П.А., Дементьев С.Г., Дементьев С.С. Системы общедоступного радиовещательного передатчика для обнаружения и сопровождения цели // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2014. № 6 <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN614.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/74TVN614

Введение. Использование противорадиолокационных ракет и высокоточного оружия в последних масштабных столкновениях авиации США и стран НАТО с противовоздушной обороной (ПВО) в Югославии, Ираке и Ливии показало, что ПВО, построенная на базе активной радиолокации, является малоэффективной.

Значительное снижение живучести активных радиолокационных станций в условиях современного боя заставило разработчиков средств обнаружения обратить внимание на пассивную радиолокацию, главной отличительной чертой, которой является высокая скрытность, защищенность по отношению к средствам радиоэлектронной борьбы и высокая живучесть.

Основная часть

1. Технологии и методы обработки информации

Некоторые технологии и методы обработки информации, ранее использовавшиеся только в одной области, например, в сотовой связи, стали широко внедряться в область пассивной радиолокации, телевидения и наоборот.

Например, технология OFDM (от англ. Orthogonal frequency-division multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) хорошо зарекомендовала себя в телевидении и радиолокации за счёт гибкости, которая обеспечивается возможностью оперативного изменения скорости потока данных и параметров передачи с целью приспособления к условиям распространения радиоволн (в условиях горной местности и города).

Нетрадиционный метод обнаружения воздушных целей *многопозиционной пассивной радиолокационной системой (МПРЛС)* путем выделения и обработки, отраженных от цели и подстилающей поверхности, сигналов широкоэмитерных телевизионных или УКВ радиопередатчиков, станций сотовой связи, позволит значительно повысить живучесть и эффективность средств ПВО в условиях современного боя.

Точность определения координат цели зависит от точности определения координат передатчика (местоположения станции сотовой связи, УКВ и т. д.), приёмных антенн (в случае многопозиционной пассивной радиолокационной системы) и центра обработки информации (рис. 1).

В настоящее время для получения данных о воздушных низколетящих целях (НЛЦ), в том числе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), крылатых ракетах (КР) и целях, создаваемых по технологии «стелс», специалисты американской фирмы «Рейтеон» совместно с европейской компанией «Тхэлс» разработали пассивную когерентную систему обнаружения НЛЦ «Homeland Alert 100». Она разрабатывалась в интересах ВВС и для решения задач ПВО в условиях применения средств РЭБ.

Особенностью данной системы является то, что для подсвета целей используются сигналы, формируемые цифровыми УКВ радиовещательными станциями, аналоговыми и цифровыми телевещательными передатчиками.

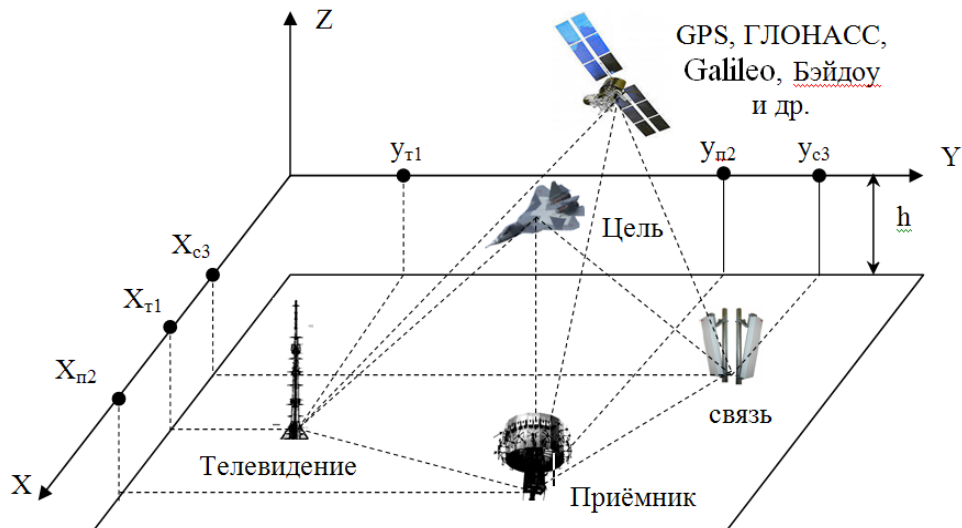


Рис. 1. Общая схема многочастотной пассивной радиолокации

Ошибка при обнаружении цели, по официальным данным, не превышает десяти метров.

Кроме того, использование нескольких разнесенных друг от друга приемных антенн дает возможность производить определение местоположение обнаруженного объекта с большей точностью.

Параметры МПРЛС, полученные в ходе исследований зарубежными учёными приведены в табл. 1.

Таблица 1

Возможности многопозиционной пассивной радиолокационной системы, использующих сигналы широкоэмитерных телевизионных или УКВ радиопередатчиков

Передающее устройство	Мощность, кВт	Уровень сигнала, дВ/м ²	Полученные параметры		
			Разрешение по дальности, км	Пиковый уровень сигнала	
				Методами пеленгации, дВ	Метод Доплера, дВ
FM-радио (аналог.)	50		1.8–16.5	-12.0; -27.0	-26; -46.5
ТВ (аналог.)	100		9.6–15.6	-0.2	-9.1
DAB	10		1.5	-11.7	-38.0
DTV	10		0.044	-19.5	-34.6
GPS	-	-135	0.030	-	-
GSM 900, МГц	-	-80	1.8	-9.3	-46.7

Для приёма сигналов телевизионных станций, широкоэмитерных УКВ радиостанций, в МПРЛС используют различные типы антенн (вибраторные, директорные, логопериодические, турникетные и т. д. (рис. 2).

Каждый тип антенны имеет свои характеристики и параметры, от которых зависят архитектура МПРЛС, методы и точность обработки радиолокационной информации. Для определения местоположения цели применяется так же разностно-дальномерный метод позиционирования, основанный на определении времени прихода сигнала на различные базовые станции.

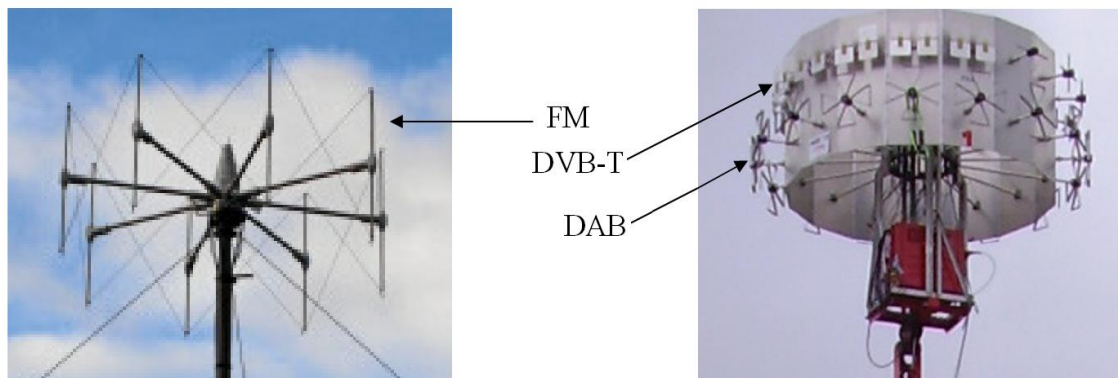


Рис. 2. Гибридные многочастотные антенны пассивных радиолокационных систем стран НАТО:

- а) – антенна радиолокационной системы «Cassidian»;*
- б) – антенна радиолокационной системы «ARGUS 3D»*

Одна из важных тенденций в развитии пассивной радиолокации – переход к многоканальным и многопозиционным РЛС с целью увеличения объема и скорости обработки радиолокационной информации. Эта тенденция получила особенно интенсивное развитие после появления различных видов антенных решеток (АР), в том числе и с синтезированной апертурой (СА).

В многопозиционных пассивных радиолокационных системах (МПРЛС) (создаваемых по программам «Сайлент Сентри-2», «Риас», CELLDAR и др.) применяется метод трилатерации (мультилатерации), определяющий координаты путём измерения не углов, а сторон треугольников.

Мультилатерационная система (MLAT) представляет собой многопозиционную пассивную (или пассивно-активную) РЛС, состоящую из нескольких приёмных станций, станции обработки и контрольного запросчика (станции сотовой связи) (рис.3). Существует несколько архитектур построения систем мультилатерации, в которых большое значение придается расположению приемных станций. Метод мультилатерации имеет высокую точность определения координат цели, сравнимую с точностью моноимпульсных РЛС, а также большую скорость обновления информации и 3D слежение. Мультилатерационные системы могут применяться для работы на очень больших дальностях; это было экспериментально доказано с помощью гиперболических навигационных систем, работающих в диапазонах средних и высоких частот [5].

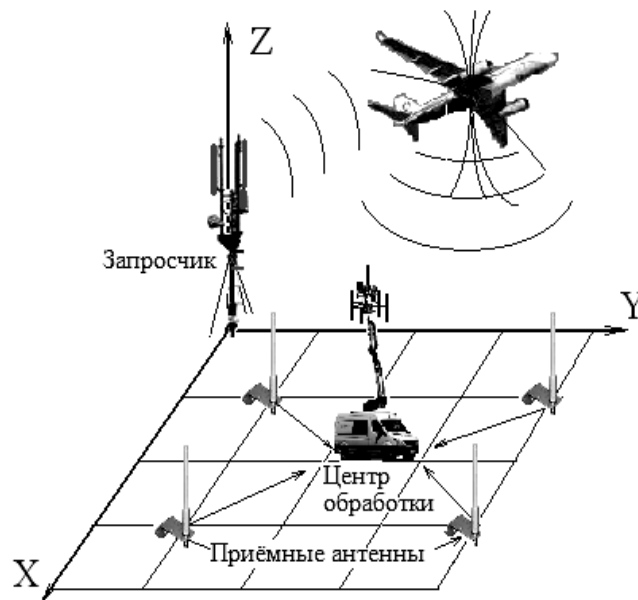


Рис. 3. Мультилатерационная система

В МПРЛС Норвегии для обнаружения отражённого от цели сигнала с неизвестным доплеровским сдвигом, используется набор фильтров, каждый из которых согласован с различными значениями неизвестной частоты, причём этот набор перекрывает весь диапазон неопределённости по частоте (рис. 4.)

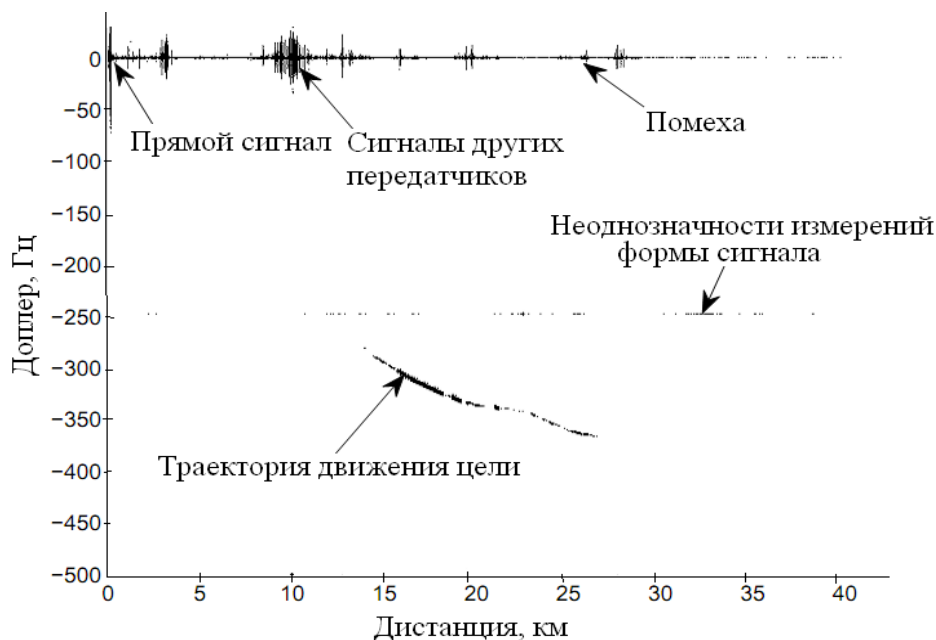


Рис. 4. Накопленный трафик доплеровской задержки в экспериментальной многопозиционной пассивной радиолокационной системе Норвегии

Использование доплеровских оценок скорости и ускорения повышает точность построения траектории и качество сопровождения цели, особенно на участках, где происходят

резкие изменения скорости (маневр самолета или торможение баллистической цели при входе в атмосферу).

Для обнаружения малозаметных морских целей (МЗ МЦ) производились экспериментальные исследования возможности обнаружения РЛС, с синхронным детектированием поляризационно-модулированных сигналов, отражённых объектами находящимися вблизи морской поверхности, т. е. методу обнаружения малозаметных морских целей. Для исследований поляризационных характеристик морских целей могут применяться как импульсные, так и доплеровские радиолокационные станции.

Измерения амплитуды и фазы сигналов, отражённых от морских целей, проводились на двух штатных РЛС «Вайгач-Найяда», с помощью осциллографа С1-83 [8].

Выполнялись натурные экспериментальные исследования поляризационных характеристик различных радиолокационных объектов, таких как, знаки навигационной обстановки (буи, бакены, вежи), катера, яхты, а так же специальные уголковые отражатели.

Анализ полученных экспериментальных данных при исследовании радиолокационной наблюдаемости МЗ МЦ показал, что дальность обнаружения с использованием синхронного детектора (с учётом сигнала, отражённого от морской поверхности) больше дальности обнаружения МЗ МЦ обычной РЛС, при прочих равных условиях. В качестве опорного напряжения используется сигнал, отражённый от морской поверхности и задержанный на период повторения импульсов, а так же использование промежуточного низкочастотного фильтра с постоянной τ вместо интегратора, что позволяет получить усиление сигнала, отраженного от МЗ МЦ, по мощности.

Суть метода заключается в последовательном во времени сравнении демодулированных, синхронно с управляющим напряжением, поляризационно-модулированных сигналов, отражённых от пространственно-временных аномалий на морской поверхности. Пусть $x(t_0) = s(t_0) + b(t_0)$ – суммарный входной сигнал, где: $s(t_0)$ – сигнал, отражённый от морской поверхности в момент времени $t = 0$; $b(t_0)$ – сопровождающая помеха.

В соответствии с теоремой Котельникова по дискретному спектру можно вычислить непрерывный спектр рассеяния объекта. Умножение его на спектр РЛС формирует спектр отраженного сигнала вызванного облучением РЛС.

Промодулируем (умножим) сигналом $x(t_0)$ синусоидальный сигнал с несущей частотой f_0 . После модуляции сигнал $x(t_0)$ принимает форму $x(t)\cos 2\pi f_0 t$, где f_0 существенно превышает спектральный интервал ΔB полезного сигнала (в 50-100 раз).

Поэтому функцию $x(t)\cos 2\pi f_0 t$ можно принять за константу. В следующий период на вход приёмного устройства поступает сигнал $x(t_1)$, если отделить друг от друга сигналы $x(t_1)\cos 2\pi f_0 t$ и $x(t)\cos 2\pi f_0 t$, то задача, выделение полезного сигнала, будет решена. Для этого достаточно демодулировать входной сигнал $x(t_1)\cos 2\pi f_0 t$, то есть умножить $x(t_1)\cos 2\pi f_0 t$ на опорный (предыдущий сигнал, отражённый от морской поверхности, задержанный на период) и вычислить среднее значение этого произведения:

$$\overline{s(t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (x(t_1)\cos(2\pi f_0 t))(\delta(t_0)\cos(2\pi f_0 t))dt. \quad (1)$$

При значении $\overline{s(t)} = 0$ - на морской поверхности радиолокационной цели нет, если значение $\overline{s(t)} \neq 0$, то цель на морской поверхности есть.

Сигнал $x(t)\cos 2\pi f_0 t$ подаётся на синхронный детектор и фильтруется интегрирующим усилителем с постоянной $\tau = RC$. На другом входе синхронного детектора присутствует опорный сигнал $x(t)\cos 2\pi f_0 t$.

Предположим, что полезный сигнал $s(t)$ определён в интервале $0 < t < T_0$. Тогда $s(t)$ можно разложить в ряд Фурье

$$s(t) = a_0 + \sum_m A_m \cos(2\pi m \Delta f_0 t - \varphi_m),$$

где $\Delta f_0 = 1/T_0$; A_m, φ_m – параметры сигнала от цели.

После модуляции будем иметь

$$s(t)\cos 2\pi f_0 t = a_0 \cos 2\pi f_0 t + \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m \cos(2\pi m \Delta f_0 t - \varphi_m) \cos 2\pi f_0 t, \quad (2)$$

и после синхронного детектирования (включающего синхронную демодуляцию)

$$s(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m \left[\cos \varphi_m \frac{\sin 2\pi m \Delta f_0 T}{2\pi m \Delta f_0 T} + \sin \varphi_m \frac{1 - \cos 2\pi m \Delta f_0 T}{2\pi m \Delta f_0 T} \right]. \quad (3)$$

Методика проведения измерений следующая. На первом этапе исследования проводились на одной штатной РЛС, стробированием выделялись отражения от участков морской поверхности в направлении на морскую цель, измерялась матрица рассеяния морской поверхностью поляризационно-модулированного сигнала и подавалась на линию задержки. Следующий сигнал сравнивался с предыдущим и т. д. Стандартная программа компенсации фона (векторное вычитание предварительно измеренных значений) снижает фон на 18дБ, при отдельных антеннах для приёма и передачи и исключения входного направленного ответвителя, уровень фона снижается ещё на 15дБ.

Допустимая глубина зоны измерений определяется запаздыванием сигнала, отраженного от местных предметов.

На втором этапе исследований применялись две штатные РЛС расположенные на расстоянии 30 метров (одна РЛС в режиме приёма) по одной цели (яхта) рис. 5.

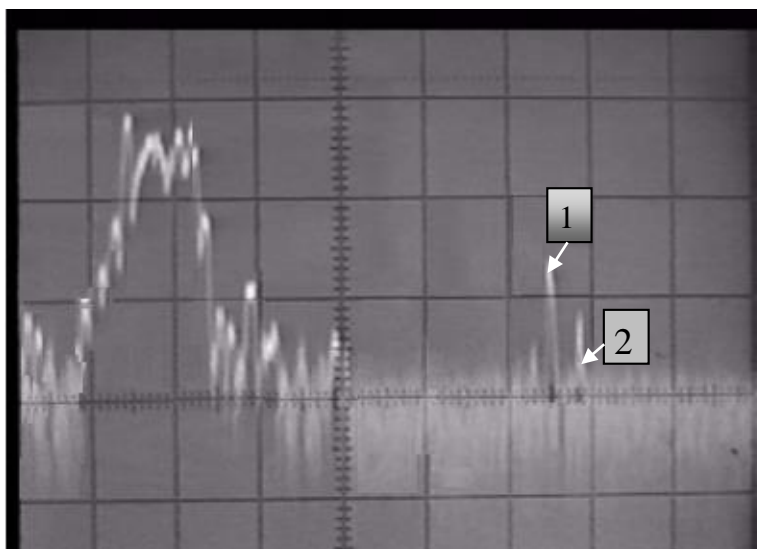


Рис.5. Экран осциллографа при исследовании сигналов от морской цели (яхта) в акватории Амурского залива:
1 – сигнал принятый штатной радиолокационной системой (МР-212);
2 – сигнал принятый радиолокационной системой (в режиме приёма) и прошедшего через синхронный детектор

Поляризации падающего поля определена передающей антенной. Количество независимых приёмных каналов определяет возможное число одновременно измеряемых индикатрис рассеяния. Рассеянное объектом поле можно рассматривать как векторную сумму напряженности полей его локальных центров рассеяния (ЛЦР). Использование для зондирования сверхширокополосных (СШП) импульсов даёт информацию об объекте в широкой полосе частот. Эта информация может быть использована для решения задач распознавания радиолокационного объекта (РЛО) [1, 2] и получения данных об его форме. Теоретически и практически удается восстанавливать форму РЛО лишь при достаточно большой пространственной (угловой) базе его обзора.

В этом случае реализуется возможность получения так называемых многокурсных проекций, и задача сводится к использованию томографических методов с обращением преобразования Радона.

В случае проведённых исследований (малобазовой радиолокационной системы) реализовать большие пространственные разносы не удалось, и поэтому применение известных методов восстановления формы РЛО стало проблематичным.

Заключение

Проведённый анализ экспериментальных исследований показал:

– использование синхронного детектирования поляризационно-модулированных сигналов на выходе каскада УВЧ приёмника РЛС, и использование специальной фильтрации, позволяет выделить некогерентные сигналы отражённые от МЗ МЦ, расположенной вблизи статистически шероховатой морской поверхности.

Использования двух и более штатных РЛС для приёма сигналов широкоэмиттерных телевизионных или УКВ радиопередатчиков, станций сотовой связи, возможно после установки дополнительной аппаратуры (конвертер, мультиплексор и т. д.) и соответствующей

настройки. Конвертер необходим для усиления принимаемого сигнала, преобразования частоты сигнала в промежуточную частоту штатной РЛС и переключения поляризации.

Для синхронизации работы передающих широкополосных станций с МПРЛС и радиолокационного опознавания «свой-чужой» в военное время, можно использовать в схемах сопряжения МПРЛС специальные смарт-карты (рис. 6).

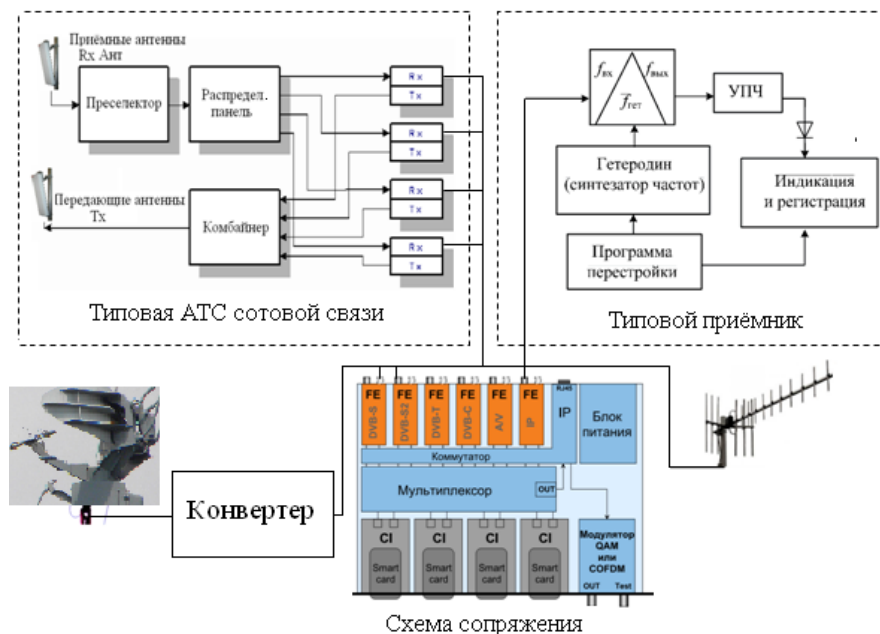


Рис. 6. Схема сопряжения станции сотовой связи и адаптивной приемной радиосистемы (АПРС)

Появление модифицированных стандартов передачи по радиоканалам цифрового радио, телевидения, таких как DVB-S2, DVB-RCS, DVB-T(T2), DVB-H2, DVB-SH, и т. д. – все это позволило значительно расширить частотный диапазон применения и увеличить возможности пассивной радиолокации.

Методы обработки сигналов, отражённых от целей, (соответственно и состав оборудования) в МПРЛС зависят от типа сигнала и идентичны методам, применяемым в радиосвязи и телевидении. Недостатки многопозиционных систем, такие как: необходимость взаимной временной и фазовой синхронизации, необходимость использования высокопроизводительных вычислительных устройств и определения взаимных векторов положения, на данном этапе развития техники и технологии могут быть устранены.

С увеличением канальности в радиосвязи, мобильной связи и радиолокации, с целью увеличения объема, повышения качества информации и помехозащищённости, наблюдается тенденция развития антенных решеток и появления нового направления многоканальных РЛС, так называемых МИМО РЛС [4]. К таким антеннам относятся «антенны с обработкой сигналов», адаптивные антенные решетки с частотным и пространственным разделением каналов, многоканальные устройства пространственно-временной адаптивной обработки (STAP) и МИМО-антенны.

В странах НАТО большое внимание уделяется созданию перспективных наземных многочастотных многопозиционных систем, обладающих уникальными возможностями не только по обнаружению, но и управлению воздушным движением самолетов военной и гражданской авиации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Immoreev I., Samkov S., Tao Teh-Ho. Short-Distance Ultra-Wideband Radars //IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – 2005. – № 20(6).
2. Prism 100, Prism 200. Cambridge Consultants Limited, UK – Режим доступа: <http://www.cambridgeconsultants.com>.
3. Through Wall Radar Vision, Time Domain Corp. – Режим доступа: <http://www.radarvision.com>.
4. J. Sachs et al. Through-Wall radar // Proc. of the IRS. – 2005.
5. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. – М.: Радиотехника, 2009. – 7–28.
6. Справочник по радиолокации / под ред. М. Сколника. – Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. (в четырёх томах) под общей ред. К.Н. Трофимова. Том. 4. Радиолокационные станции и системы. – М.: Сов. радио, 1978.
7. Olsen K., Johnsen T., Johnsrud S. Details of the signal processing, simulations and results from the Norwegian multistatic radar DiMuRa. Proceedings of the IEEE Waveform Diversity and Design Conference, February 2006.
8. Дементьев С.Г., Сырвачев В.А. Измерение характеристик малозаметных объектов вблизи морской поверхности. // Сб. статей "Проблемы и методы разработки и эксплуатации вооружения и военной техники ВМФ". Выпуск 26. – Владивосток: ТОВМИ, 1999. С.49 - 57.

Рецензент: В.С. Метелкин, доцент, к.т.н., Заведующий кафедрой «Радиоэлектроники» Тихоокеанского высшего военно морского училища имени С.О. Макарова

Alifanov Roman Nikolaevich

The Far Eastern State Technical Fishery University, FSFEI HPE “Dalrybvuz”
Russia, Vladivostok
E-mail: gidra_518@mail.ru

Starodubtsev Paul Anatol'evich

Military educational centre of science of Navy fleet « the Naval academy of a name of Admiral of
Fleet of Soviet Union of N.G.Kuznetsova » (branch Vladivostok)
Russia, Vladivostok
E-mail: spa1958@mail.ru

Dementiev Sergey Gennad'evich

Military educational centre of science of Navy fleet « the Naval academy of a name of Admiral of
Fleet of Soviet Union of N.G.Kuznetsova » (branch Vladivostok)
Russia, Vladivostok
E-mail: sergei_1dem@mail.ru

Dementiev Sergey Sergeevich

Military educational centre of science of Navy fleet « the Naval academy of a name of Admiral of
Fleet of Soviet Union of N.G.Kuznetsova » (branch Vladivostok)
Russia, Vladivostok
E-mail: sergei_1dem@mail.ru

System of public broadcasting transmitter for the detection and tracking of targets

Abstract. Results and technology of the modern multipurpose land-air combat shows that the air defense of strategic facilities, built on the basis of active radar, is now ineffective to detect, primarily aircraft and little tenacious. This forced developers active radar to pay very close attention to the passive radar.

The main feature of passive radar is a high technical secrecy and security in relation to the means of electronic warfare, as well as a very significant operational and combat survivability.

For the development of technology based on passive radar developers have been used many techniques and methods of information processing, previously used only in some - one area, for example, in cellular communication.

Of the variety of trends, technologies and techniques, the most important in the development of modern passive radar technology is the transition to multi-channel and multi-radar stations in order to increase the volume and speed of processing radar information. This trend was particularly intense development after emergence of different types of antenna arrays, including synthetic aperture.

The analysis of trends in the development of passive radar showed that NATO countries much attention is paid to the development of advanced ground-based multi-frequency multi-position systems with a unique opportunity not only to detect, but also air traffic control aircraft military and civil aviation

Keywords: Passive radar system; the signals broadcast television or VHF radio transmitters; hyperbolic positioning.

REFERENCES

1. Immoreev I., Samkov S., Tao Teh-Ho. Short-Distance Ultra-Wideband Radars // IEEE Aer-ospace and Electronic Systems Magazine. - 2005. - № 20 (6).
2. Prism 100, Prism 200. Cambridge Consultants Limited, UK - Mode of access: <http://www.cambridgeconsultants.com>.
3. Through Wall Radar Vision, Time Domain Corp. - Mode of access: <http://www.radarvision.com>.
4. J. Sachs et al. Through-Wall radar // Proc. of the IRS. - 2005.
5. Radzievskii VG Trifonov, PA Processing of ultra-wideband signals and in fur. - M.: Radio Engineering, 2009 - 7-28.
6. Handbook of radar / ed. M. Skolnick. - New York, 1970, Trans. Translated from English. (in four volumes), ed. KN Trofimov. Tom. 4 Radars and systems. - M.: Owls. radio, 1978.
7. Olsen K., Johnsen T., Johnsrud S. Details of the signal processing, simulations and results from the Norwegian multistatic radar DiMuRa. Proceedings of the IEEE Waveform Diversity and Design Conference, February 2006.
8. Dement'ev SG, Syrvachev VA Measurement of inconspicuous objects near the sea surface. // Proc. Problemy articles and methods of development and operation of weapons and military equipment VMF. Issue 26 - Vladivostok: PNI, 1999 P.49 - 57.