ОБНАРУЖЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ НА ФОНЕ АКТИВНЫХ ПОМЕХ ПО ОПРЕДЕЛИТЕЛЮ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ

Поздышев Валерий Юрьевич,
НТЦ ВКО "Концерн ВКО "Алмаз-Антей", Москва, Россия,
pozvalerij@yandex.ru

Якубовский Сергей Владимирович,
НИИЦ ЦНИИ ВВКО МО, Москва, Россия,
syakubovskiy@mail.ru

Зюзин Алексей Владимирович,
ФГКВОВ ВО "Ярославское высшее военное училище
противовоздушной обороны" МО РФ, г. Ярославль, Россия,
aleksey.zyuzin@mail.ru

Тимошенко Александр Васильевич,
ОАО "РТИ им. А.Л. Минца", Москва, Россия;
Национальный исследовательский университет "МИЭТ",
Москва, Зеленоград, Россия, u567ku78@gmail.com

DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-9-4-9

Manuscript received 02 June 2020;
Accepted 31 August 2020

Ключевые слова: Поляризационная матрица
рассеяния, радиолокатор, обнаружение на фоне
активных помех, полное поляризационное зондирование
пространства, решающее правило, определитель
поляризационной матрицы рассеяния

Рассматривается возможность обнаружения радиолокационных целей, движущихся под прикрытием активных шумовых маскирующих помех, действующих по главному лепестку диаграммы направленности антенной системы, а также применяющих помехи самоприкрытия. Показано, что в радиолокационных станциях с полным поляризационным зондированием пространства и измерением поляризационной матрицы рассеяния (ПМР), существует возможность синтеза решающего правила обнаружения целей на фоне активных шумовых некоррелированных помех. Данный синтез возможен на основе определителя поляризационной матрицы рассеяния, значение которого обладает свойствами инвариантности к виду поляризационного вектора рассеяния. Анализ определителя поляризационной матрицы рассеяния в условиях измерения ее элементов на фоне активной помехи позволяет выявить различия значений определителя при условиях наличия и отсутствия цели в разрешаемом радиолокационной системой объеме пространства. При этом значение определителя становится основным информационным признаком. Отличительной особенностью обнаружителя является инвариантность к виду поляризационного вектора рассеяния. Синтез обнаружителя основан на различиях сигналов вторичного и первичного излучений, проявляющихся на выходе измерителя ПМР, а именно, на свойствах определителя поляризационной матрицы рассеяния объекта и сигнала, полученного от источника активной помехи. Целью статьи является иллюстрация различий свойств поляризационной матрицы рассеяния на выходе измерителя ПМР при наличии активной помехи и/или полезного сигнала, а также возможностей использования имеющихся различия свойств ПМР и их оценок при наличии активной помехи для синтеза радиолокационного обнаружителя.

Информация об авторах:

Поздышев Валерий Юрьевич, д.т.н., доцент, начальник НИО-1 НТЦ ВКО "Концерн ВКО "Алмаз-Антей", Москва, Россия

Якубовский Сергей Владимирович, д.т.н., доцент, начальник отдела, НИИЦ ЦНИИ ВВКО МО РФ, Москва, Россия

Зюзин Алексей Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой физики, ФГКВОВ ВО "Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны" Министерства обороны Российской Федерации, г. Ярославль, Россия

Тимошенко Александр Васильевич, д.т.н., профессор, начальник комплексного отдела – заместитель генерального конструктора ОАО "РТИ им. А.Л. Минца", Российская Федерация, Москва, Россия;
Национальный исследовательский университет "МИЭТ", Москва, Зеленоград, Россия

Для цитирования:

Поздышев В.Ю., Якубовский С.В., Зюзин А.В., Тимошенко А.В. Обнаружение радиолокационных целей на фоне активных помех по определителю поляризационной матрицы рассеяния // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Том 14. №9. С. 4-9.

For citation:

Pozdyshev V.Y., Yakubovskiy S.V., Zyuzin A.V., Timoshenko A.V. (2020) Detection of radar targets on the background of active interference by the detector of the polarization matter of the scattering. *T-Comm*, vol. 14, no.9, pp. 4-9. (in Russian)

Введение

Особенностью условий работы современных РЛС является непрерывное усложнение целевой и помеховой обстановки [6, 12, 13]. Основной задачей РЛС при этом является обеспечение требуемых показателей обнаружения различных целей [5, 6, 15]. Разработка обнаружителя радиолокационных объектов на фоне активных помех (АП) [4-6, 10] актуальна по причине эффективности АП на всех участках траектории движения объектов локации.

Одним из способов повышения помехозащищенности РЛС является применение метода полного поляризационного зондирования пространства ППЗП [4], предполагающего излучение сложных ортогональных по поляризации и внутренней структуре сигналов [8], а также многомерный анализ отраженных электромагнитных волн [3, 4, 10, 14].

Вопросам повышения помехозащищенности РЛС и возможностям метода ППЗП посвящены работы многих авторов [4, 7-11, 14]. Использование ППЗП позволяет перейти от скалярной обработки принимаемого сигнала к векторной. В ситуации отсутствия пространственных, временных и частотных различий возможен учет поляризационных различий сигналов и помех в интересах решения задачи обнаружения целей.

Отраженные от объекта электромагнитные волны несут информацию о его пространственном положении, эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) и пр. Информация об указанных параметрах содержится в структуре отраженного сигнала, его частоте, задержке по времени, направлении распространения, а также в амплитуде. Кроме того информацию может нести и поляризация электромагнитной волны, в частности поляризационная матрица рассеивания (ПМР) цели. ПМР определяется геометрией объекта, его ориентацией в пространстве, материалами корпуса. Таким образом, по ПМР возможно проведение классификации целей [1-3, 9, 10].

Кроме оценивания ПМР, РЛС с ППЗП может иметь высокую помехоустойчивость при воздействии маскирующих активных помех. В настоящей работе эта идея доведена до разработки алгоритма обнаружения цели на фоне активных маскирующих помех.

Модели определителя ПМР при обнаружении цели на фоне активных маскирующих помех

При разработке обнаружителя объектов на фоне активных маскирующих помех необходимо учитывать различия в природе сигнала отраженного от объекта и сигнала активной помехи.

Пусть для оценки поляризационной матрицы рассеяния S сформирован зондирующий векторный сигнал [7, 8] непосредственно при помощи ортогональных функций $\lambda_1(t)$ и $\lambda_2(t)$, удовлетворяющих условию [9]:

$$\langle \lambda_1(t) \lambda_2^*(t) \rangle = \langle \lambda_1^*(t) \lambda_2(t) \rangle = 0.$$

где $\langle * \rangle$ – знак усреднения.

В случае, если зондирующий векторный сигнал $\vec{E}_0(t) = \begin{pmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \end{pmatrix}$, то наблюдаемый сигнал имеет вид:

$$\vec{E}_p(t) = S \vec{E}_0(t) = S \begin{pmatrix} \lambda_1(t) \\ \lambda_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{S}_{11} \lambda_1(t) + \dot{S}_{12} \lambda_2(t) \\ \dot{S}_{21} \lambda_1(t) + \dot{S}_{22} \lambda_2(t) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Выделить все 4 элемента ПМР возможно при корреляционной обработке или согласованной фильтрации [1, 2]. Умножая $\vec{E}_p(t)$ на сопряженный и транспонированный векторный сигнал $\vec{E}_0^*(t)$ и усредняя на интервале времени существования сигнала, получим матрицу:

$$\begin{aligned} \mathbf{J} &= \langle \vec{E}_p(t) \vec{E}_0^*(t) \rangle = \left\langle \begin{pmatrix} \dot{S}_{11} \lambda_1(t) + \dot{S}_{12} \lambda_2(t) \\ \dot{S}_{21} \lambda_1(t) + \dot{S}_{22} \lambda_2(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1^*(t) & \lambda_2^*(t) \end{pmatrix} \right\rangle = \\ &= \begin{pmatrix} \dot{S}_{11} \lambda_1^2(t) & \dot{S}_{12} \lambda_2^2(t) \\ \dot{S}_{21} \lambda_1^2(t) & \dot{S}_{22} \lambda_2^2(t) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

Квадраты модулей ортогональных функций соответствуют мощности скалярных функций $\lambda_1(t)$ и $\lambda_2(t)$. Если $\lambda_1^2(t) = \lambda_2^2(t)$, то:

$$\mathbf{J} = \langle \vec{E}_p(t) \vec{E}_0^*(t) \rangle = \lambda^2(t) \begin{pmatrix} \dot{S}_{11} & \dot{S}_{12} \\ \dot{S}_{21} & \dot{S}_{22} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Таким образом, оценка матрицы рассеяния формируется непосредственно из выражения (3), которое представляет собой матрицу когерентности. При наличии активной маскирующей помехи $\vec{n}(t)$ матрицу (1) можно записать как:

$$\vec{E}_p(t) = S \vec{E}_0(t) + \vec{n}(t). \quad (4)$$

В этом случае оценка матрицы рассеяния формируется в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{J} &= \langle \vec{E}_p(t) \vec{E}_0^*(t) \rangle = \left\langle \begin{pmatrix} \dot{S}_{11} \lambda_1^2(t) + \langle n_1(t) \lambda_1^*(t) \rangle & \dot{S}_{12} \lambda_2^2(t) + \langle n_2(t) \lambda_2^*(t) \rangle \\ \dot{S}_{21} \lambda_1^2(t) + \langle n_1(t) \lambda_1^*(t) \rangle & \dot{S}_{22} \lambda_2^2(t) + \langle n_2(t) \lambda_2^*(t) \rangle \end{pmatrix} \right\rangle = \\ &= \begin{pmatrix} \dot{S}_{11} \lambda_1^2(t) & \dot{S}_{12} \lambda_2^2(t) \\ \dot{S}_{21} \lambda_1^2(t) & \dot{S}_{22} \lambda_2^2(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \langle n_1(t) \lambda_1^*(t) \rangle & \langle n_2(t) \lambda_2^*(t) \rangle \\ \langle n_1(t) \lambda_1^*(t) \rangle & \langle n_2(t) \lambda_2^*(t) \rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} j_{11} & j_{12} \\ j_{21} & j_{22} \end{pmatrix} + [n] \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $[n]$ – матрица помехи на выходе каналов обработки, $n_{ij}(t)$ – комплексные значения шумов на входе каждого из 4-х каналов. Если матрица ПМР измеряется одновременно, то измеряемая матрица при наличии помехи имеет вид:

$$[\mathbf{n}] = \begin{pmatrix} \langle n_1(t)\lambda_1^*(t) \rangle & \langle n_1(t)\lambda_2^*(t) \rangle \\ \langle n_2(t)\lambda_1^*(t) \rangle & \langle n_2(t)\lambda_2^*(t) \rangle \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\text{где } \begin{matrix} n_1(t) = n_{12}(t) = n_{11}(t) \\ n_2(t) = n_{21}(t) = n_{22}(t) \end{matrix}.$$

Проанализируем возможные значения оценки одного из инвариантов ПМР – определителя матрицы. Детерминант по определению [3, 4] имеет вид $|S| = \dot{S}_{11}\dot{S}_{22} - \dot{S}_{21}\dot{S}_{12}$. Поскольку оценка матрицы рассеяния производится в соответствии с (5), то рассмотрим три характерных случая.

а) На входе приемного тракта только сигнал, отраженный от радиолокационного объекта. Определитель имеет вид:

$$|J| = \lambda^4 (\dot{S}_{11}\dot{S}_{22} - \dot{S}_{21}\dot{S}_{12}) = \lambda^4 |S| \neq 0. \quad (7)$$

Выражение (7) имеет комплексный характер. При измерении ПМР с относительной фазой [2] эта величина будет иметь постоянное значение. Для случая измерения ПМР с абсолютной фазой значение определителя будет иметь случайный характер на комплексной плоскости.

б) На входе приемного тракта сигнал только активной помехи. Определитель имеет вид:

$$|J| = \langle n_1(t)\lambda_1^*(t) \rangle \langle n_2(t)\lambda_2^*(t) \rangle - \langle n_2(t)\lambda_1^*(t) \rangle \langle n_1(t)\lambda_2^*(t) \rangle. \quad (8)$$

Для ортогональных тригонометрических функций $\begin{cases} \lambda_1(t) = \cos \omega t \\ \lambda_2(t) = \sin \omega t \end{cases}$, наиболее часто применяемых в радиолокации, связь между функциями может быть обеспечена множителем $e^{-j\pi/2}$, т.е. $\lambda_2(t) = \lambda_1(t)e^{-j\pi/2}$. Выражение (8) запишем в виде:

$$|J| = e^{-j\pi/2} \int n_1(t)\lambda_1^*(t)dt \int n_2(t)\lambda_1^*(t)dt - e^{-j\pi/2} \times \int n_1(t)\lambda_1^*(t)dt \int n_2(t)\lambda_1^*(t)dt = 0. \quad (9)$$

откуда видно, что при наличии на входе только АП и соответствующем подборе ортогональной пары сигналов детерминант $|J|$ равен нулю. Аналогичный эффект имеет место при отсутствии и полезного сигнала, и помех.

в) На входе приемного тракта сигнал активной помехи и отраженный от объекта. Определитель имеет вид:

$$\begin{aligned} |J| &= (\dot{S}_{11}\lambda_1^2(t) + \langle n_{11}(t)\lambda_1^*(t) \rangle) \times \\ &\times (\dot{S}_{22}\lambda_2^2(t) + \langle n_{22}(t)\lambda_2^*(t) \rangle) - \\ &- (\dot{S}_{21}\lambda_1^2(t) + \langle n_{21}(t)\lambda_1^*(t) \rangle) \times \\ &\times (\dot{S}_{12}\lambda_2^2(t) + \langle n_{12}(t)\lambda_2^*(t) \rangle) = \\ &= \lambda_1^2(t)\lambda_2^2(t)(\dot{S}_{11}\dot{S}_{22} - \dot{S}_{12}\dot{S}_{21}) + \\ &+ \langle n_1(t)\lambda_1^*(t) \rangle (\dot{S}_{22} - \dot{S}_{12}) + \\ &+ \langle n_2(t)\lambda_2^*(t) \rangle (\dot{S}_{11} - \dot{S}_{21}) \neq 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Из выражения видно, что значение детерминанта определяется тремя факторами:

- 1) поляризационными характеристиками объекта;
- 2) мощностью сигналов активной помехи по каждому ортогональному по поляризации каналу;
- 3) уровнем корреляции между опорными сигналами в приемнике и сигналами активной помехи.

Решающее правило обнаружения целей на фоне активных маскирующих помех

Заметим, что при наличии на входе приемника смеси «помеха+цель» возможное отличие от нуля детерминанта $|J|$ тем больше, чем больше помеха. Помеха способствует обнаружению цели, что проявляется в более интенсивной флуктуации определителя $|J|$.

Результат анализа может быть представлен табл. 1.

Таблица 1

Сигнал на входе приемника	Значение определителя $ J $	Принятая гипотеза в процессе решения
«цель»	$\neq 0$	H_1 – Цель есть
«помеха+цель»	$\neq 0$	H_1 – Цель есть
«помеха»	$=$	H_0 – Цели нет

В реальной обстановке строгое соответствие значений детерминанта таблице маловероятно в силу наличия внутренних шумов приемника. Это обстоятельство приводит к необходимости статистической обработки в процессе решения задачи обнаружения. Структурная схема обнаружителя представлена на рис. 1 тремя элементами. Измеритель ПМР рассматривался в литературе [1, 2]. Вычисление определителя в оцифрованном виде не вызывает затруднений.

Рис. 1

Логика принятия решения представлена в таблице 1. Однако, возможное отсутствие абсолютного нуля на выходе вычислителя определителя ПМР $|J|$ позволяет рассматривать результат вычисления как нормальный случайный процесс с математическим ожиданием, равным нулю, и дисперсией, определяемой в результате предварительного функционального контроля измерителя ПМР и вычислителя определителя. Статистическая оценка дисперсии возможна при имитации сигнала активной помехи с предполагаемой интенсивностью и шириной спектра, заводимой в приемный тракт с генератора сигналов активных помех. В результате оценки дисперсии процесс на выходе вычислителя в произвольный i -й момент времени при отсутствии полезного сигнала характеризуется случайной величиной x и описывается нормальным законом:

$$f_0(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_0^2}} e^{-\frac{x_i^2}{2\sigma_0^2}}, \quad (11)$$

где $x_i = |J_i|$, σ_o^2 – дисперсия x при наличии на входе только сигнала помехи. В случае, если на входе имеет место не только помеха, но и полезный сигнал, то случайный процесс будет определяться нулевым математическим ожиданием и дисперсией, расчет которой представляется возможным согласно (10) по известной ПМР S и средним значениям, полученным в процессе приема сигнала активной помехи $[n]$ (6).

Процесс на выходе вычислителя описывается нормальным законом с дисперсией σ_i^2 :

$$f_1(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} e^{-\frac{x_i^2}{2\sigma_i^2}} \quad (12)$$

Отношение правдоподобия запишется в виде

$$L(x_i) = \frac{f_1(x_1)f_1(x_2)...f_1(x_i)...f_1(x_n)}{f_0(x_1)f_0(x_2)...f_0(x_i)...f_0(x_n)} = \left\{ \frac{\sigma_0}{\sigma_1} + \exp\left(\frac{x_i^2}{2}\left(\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}\right)\right) \right\}^n \quad (13)$$

Логарифмируя (13), получим

$$l(x_i) = \sum_{i=1}^n \left[\ln\left(\frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2}\right) + \frac{x_i^2}{2}\left(\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}\right) \right] = n \ln\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right) + \sum_{i=1}^n \left[\frac{x_i^2}{2}\left(\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}\right) \right] \quad (14)$$

Алгоритм обнаружения сводится к последовательности процедур:

- однократный расчет дисперсий σ_1^2, σ_0^2 ;
- вычисление в процессе наблюдения статистики (14);
- сравнение решающей статистики (14) с фиксированным порогом C , в результате которого принимается решение о наличии цели.

Оценка показателей качества обнаружения целей на фоне активных помех по определителю ПМР

Из выражения (14) выделим достаточную статистику:

$$\eta_{0(1)} = \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad (15)$$

характеристики которой соответствуют гипотезам H_1 и H_0 . Показатели качества представленного решающего правила необходимо связаны с вычислением закона распределения решающей статистики η . Принимая гипотезу о нормальном законе распределения x_i с параметрами $(0, \sigma_o^2)$ или $(0, \sigma_i^2)$, воспользуемся известной в литературе методикой [5, 6, 11] и найдем объем выборки, необходимый для обнаружения цели в условиях активных помех по критерию Неймана-Пирсона:

$$N = \left[\sqrt{2} \frac{\xi_{1-F}\sigma_0^2 - \xi_{1-D}\sigma_1^2}{\sigma_1^2 - \sigma_0^2} \right]^2, \quad (16)$$

где ξ_α – α -процентная точка отклонения (квантиль), F – вероятность ложной тревоги, D – вероятность правильного обнаружения.

Из (16) следует, что объем выборки определяется:

а) заданными вероятностями ошибок первого и второго рода при обнаружении (чем выше мощность критерия обнаружения, тем больше объем выборки);

б) дисперсиями при вычислении определителя $|J_i|$ для гипотезы H_0 и H_1 (чем больше разность дисперсий, тем меньше объем выборки, а так как в соответствии с (10) сигнал активной помехи увеличивает дисперсию, то наличие активной помехи способствует сокращению времени на принятие решения).

Для оценки эффективности разработанного алгоритма проведено статистическое моделирование процесса обнаружения радиолокационной цели при воздействии активной маскирующей помехи фиксированной (линейной) поляризации. Результаты моделирования для различных объемов выборки (10-500) и однополяризационного (ОО) обнаружителя представлены на рис. 2.

Рис. 2

Анализ полученных результатов показывает, что вычисление определителя ПМР объектов позволяет повысить эффективность обнаружения в активных помехах по сравнению с обнаружителями, не учитывающими поляризацию сигнала.

Выводы

Таким образом, анализ свойств определителя поляризационной матрицы рассеяния в условиях измерения элементов ПМР на фоне активной помехи позволяет синтезировать обнаружитель радиолокационных целей. Отличительной особенностью разработанного алгоритма является инвариантность к виду поляризационного вектора рассеяния. Синтез обнаружителя основан на различии сигналов вторичного и первичного излучения, проявляющихся на выходе измерителя ПМР, а именно, на свойствах определителя поляризационной матрицы рассеяния объекта и сигнала, полученного от источника активной помехи.

Применение обнаружителя целей на фоне активных маскирующих помех позволит не только обеспечить приемлемые показатели обнаружения, но и эффективно использовать временной баланс РЛС. Использование алгоритма обнаружения цели на фоне ответной по определителю ПМР с использованием критерия Неймана Пирсона для объема выборки равного 10 позволяет достигать приемлемых показателей качества обнаружения при отношении сигнал помеха от 5...7дБ.

Перспективами развития темы, освещенной в работе, является исследование возможностей представленного алгоритма для активных помех круговой и хаотической поляризации, а также активных имитирующих помех.

Литература

1. SU 332301 A1. 1.11.19 . Устройство для измерения элементов поляризационной матрицы рассеяния / Поздышев В.Ю., Мартыничук А.А., Кутузов А.С. Храбростин Б.В.
2. RU 190 239 C1 27.09.2002. Способ и устройство для измерения элементов поляризационной матрицы рассеяния / Храбростин Б.В., Никитин В.М.
3. Скорыходов О.В., Яковлев А.В. Распознавание одного класса объектов методом детерминированных полей признаков // Автоматическое управление и вычислительная техника, вып. 10. М.: Машиностроение, 1972. 256 с.
4. Поляризация сигналов в сложных транспортных радиоэлектронных комплексах // Сборник научных трудов. Библиотека академии транспорта. Отв. Редактор Козлов А.И., Сарычев В.А. Санкт-Петербург: Хронограф, 1994. 465 с.
5. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники, 3-е издание. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.
6. Skolnik M.I., *Radar Handbook*. Third Edition McGraw-Hill Education, 2008. 1328 p.
7. Чиров Д.С., Кандаурова Е.О. Анализ методов распознавания видов межимпульсной модуляции сигналов радиолокацион-

ных средств // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. №3. С. 15-24.

8. Хайбутов К.Е., Зюзин А.В., Рогов И.В., Скрыбин Д.А. Анализ временной и поляризационной ортогональности сигналов в интересах одновременного измерения элементов поляризационной матрицы рассеяния в полнополяризационных радиолокационных станциях // Материалы V Всероссийской НТК «РТИ Системы ВКО»: сб. научн. докл. по матер. конф. (Москва, 2017). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2018. С. 562-570.

9. Хайбутов К.Е., Боев С.Ф., Зюзин А.В. Модель полнополяризационного дальностного радиолокационного портрета для решения задачи селекции объекта // Успехи современной радиоэлектроники. М.: Изд-во «Радиотехника». 2017. Т. 15. №11. С. 43-47.

10. Якубовский С.В., Алферьев А.В., Фролов Д.В. Методика расчета полнополяризационных дальностно-угловых радиолокационных портретов движущихся объектов в РЛС с инверсным синтезом апертуры // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. №9. DOI 10.30898/1684-1719.2019.9.9.

11. Тимошенко А.В., Босый А.С., Шленских Д.А., Овчаренко К.Л. Разностно-дальномерный метод оценивания координат источников радиоизлучения на основе искусственных нейронных сетей с пеленгованием в дальней зоне // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. №2. С. 4-8. DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-2-4-8.

12. Ryan M. Joint Publication 3-13.1 Electronic Warfare. Battlef. Technol. 2007, 10, 40.

13. Matuszewski J. Jamming Efficiency of Land-Based Radars by the Airborne Jammers. In Proceedings of the MIKON 2018. 22nd International Microwave and Radar Conference, Poznan, Poland, 14-17 May 2018, pp. 324-327.

14. Dai D., Zhang J., Wang X., Xiao S. Superresolution Polarimetric ISAR Imaging Based on 2D CP-GTD Model. Hindawi Publishing Corporation Journal of Sensors. 2015, Article ID 293141, 11 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/293141>.

15. Wang F., Guo R., and Huang Y. Radar target recognition based on some invariant properties of the polarization scattering matrix // Proceedings of the 6th IEEE CIE International Conference on Radar (RADAR '11), pp. 626-629, October 2011.

DETECTION OF RADAR TARGETS ON THE BACKGROUND OF ACTIVE INTERFERENCE BY THE DETECTOR OF THE POLARIZATION MATTER OF THE SCATTERING

Valery Yu. Pozdyshev, scientific and technical center for aerospace defense "Concern AD "Almaz-Antey", Moscow, Russia, pozvalerij@yandex.ru

Sergey V. Yakubovskiy, scientific research testing center of the central scientific research institute of aerospace defense forces of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia, yakubovskiy@mail.ru

Alexey V. Zyuzin, Federal Educational institution of higher professional education "Yaroslavl Higher Military Institute of the Air Defense" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Yaroslavl, Russia, aleksey.zyuzin@mail.ru

Alexander V. Timoshenko, open joint-stock company "Radio Engineering Institute named after A.L. Mints", Moscow, Russia; National Research University of Electronic Technology, Moscow, Zelenograd, Russia, u567ku78@gmail.com

Abstract

The article discusses the possibility of detecting radar targets moving under the cover of active noise masking interference, acting along the main lobe of the antenna system's radiation pattern, and also using self-covering noise. It is shown that in radar stations with full polarization sounding of the space and measurement of the polarization scattering matrix (PSM), it is possible to synthesize a decisive rule for target detection against active noise-free correlated interference. This synthesis is possible on the basis of the determinant of the polarization scattering matrix, the value of which has the properties of invariance to the form of the polarization scattering vector. The analysis of the determinant of the polarization scattering matrix in the conditions of measuring its elements against the background of active interference makes it possible to identify differences in the values of the determinant under conditions of presence and absence of a target in the volume of space allowed by the radar system. In this case, the value of the determinant becomes the main informa-

tion feature. A distinctive feature of the detector is the invariance to the form of the polarization scattering vector. The detector synthesis is based on differences in the signals of the secondary and primary radiation, which appear at the output of the PSM meter, namely, on the properties of the determinant of the polarization matrix of the scattering of the object and the signal received from the source of active interference. The purpose of the article is to illustrate the differences in the properties of the polarization scattering matrix at the output of the PSM meter in the presence of active interference and / or a useful signal, as well as the possibilities of using the existing differences in the properties of PSM and their estimates in the presence of active interference for the synthesis of a radar detector.

Keywords: polarization scattering matrix, radar, detection against active interference, full polarization sounding of space, decisive rule, determinant of the polarization scattering matrix..

References

1. SU 332301 A1. I.II.1991. Device for measuring elements of the polarization scattering matrix / Pozdyshev V.Y., Martynchuk A.A., Kutuzov A.S., Khrabrostin B.V.
2. RU 2 190 239 C1 27.09.2002. Method and device for measuring elements of a polarization scattering matrix / Khrabrostin B.V., Nikitin V.M.
3. Skorohodov O.V., Yakovlev A.V. (1972). Recognition of one class of objects by the method of deterministic attribute fields. *Automatic control and computer technology, release 10*. Moscow: Engineering. 256 p.
4. Signal polarization in complex transport electronic systems. Collection of scientific papers. Library of the Transport Academy. editor Kozlov A.I., Sarychev V.A. St. Petersburg: chronograph, 1994. 465 p.
5. Levin B.R. (1989). Theoretical Foundations of Statistical Radio Engineering, 3-d edition. Moscow: Radio and communication. 656 p.
6. Skolnik M.I. Radar Handbook, Third Edition McGraw-Hill Education, 2008, 1328 p.
7. Chirov D.S., Kandaurova E.O. (2019). Analysis of methods for recognizing types of radar signals inter-pulse modulation for radar facilities. *T-Comm*. No. 3. P. 15-24.
8. Khaibutov K.E., Zyuzin A.V., Rogov I.V., Skryabin D.A. (2017). Analysis of temporal and polarization signals orthogonality in the interests of simultaneous measurement of elements of the polarization scattering matrix in full-polarization radar stations. *Materials of the V All-Russian scientific and technical conference "REI systems AD": collection of scientific reports on conference materials* (Moscow, 2017). Moscow: Publishing house BMSTU, pp. 562-570.
9. Khaibutov K.E., Boev S.F., Zyuzin A.V. (2017). A model of a full-polarized long-range radar portrait for solving the problem of object selection. *Advances in modern electronics*. Moscow: Publishing house "Radiotekhnika". Vol. 15. No.11, pp. 43-47.
10. Yakubovskiy S.V., Alferiev A.V., Frolov D.V. (2019). Calculation method for full-range far-angle radar portraits of moving objects in radar with inverse aperture synthesis. *Journal of Radio Electronics* [electronic journal]. No.9. DOI 10.30898/1684-1719.2019.9.9.
11. Timoshenko A.V., Bosy A.S., Shlensky D.A., Ovcharenko K.L. (2020). Difference-range measuring method for estimating the coordinates of radio emission sources based on artificial neural networks with direction finding in the far zone. *T-Comm*. No. 2, pp. 4-9.
12. Ryan, M. (2007). Joint Publication 3-13.1 Electronic Warfare. Battlef. Technol. 10, 40.
13. Matuszewski J. (2018). Jamming Efficiency of Land-Based Radars by the Airborne Jammers. In *Proceedings of the MIKON 2018-22nd International Microwave and Radar Conference*, Poznan, Poland, 14-17 May 2018, pp. 324-327.
14. Dai D., Zhang J., Wang X., Xiao S. (2015). Superresolution Polarimetric ISAR Imaging Based on 2D CP-GTD Model. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Sensors*. Article ID 293141, 11 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/293141>
15. Wang F., Guo R., and Huang Y. (2011). Radar target recognition based on some invariant properties of the polarization scattering matrix. *Proceedings of the 6th IEEE CIE International Conference on Radar (RADAR '11)*, pp. 626-629, October 2011.

Information about authors:

Valery Yu. Pozdyshev, Dr. Sc. (Eng.), associate professor, head of the research department, scientific and technical center for aerospace defense "Concern AD "Almaz-Antey", Moscow, Russia

Sergey V. Yakubovskiy, Dr. Sc. (Eng.), associate professor, head of department, scientific research testing center of the central scientific research institute of aerospace defense forces of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

Alexey V. Zyuzin, Dr. Sc. (Eng.), professor, head of the physics department, Federal Educational institution of higher professional education "Yaroslavl Higher Military Institute of the Air Defense" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Yaroslavl, Russia

Alexander V. Timoshenko, Dr. Sc. (Eng.), professor, head of the integrated department - deputy general designer open joint-stock company "Radio Engineering Institute named after A.L. Mintsa", Moscow, Russia; National Research University of Electronic Technology, Moscow, Zelenograd, Russia