

УДК 621.396.96

Е.Л. Казаков, А.В. Коломийцев, С.И. Клевец

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

АНАЛИЗ МАТРИЦЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОТРАЖЕННЫХ И РАССЕЯННЫХ ЦЕЛЮ СИГНАЛОВ

Рассматриваются возможности получения информации о характеристиках цели по пространственно-временной матрице интенсивностей сигналов, принимаемых в совмещенном и вынесенном пунктах с использованием корреляционной теории. Проводится анализ энергетических и спектральных свойств флуктуирующей цели. Получены аналитические выражения для расчетов. Сделаны выводы.

Ключевые слова: радиолокационная флуктуирующая цель, энергетические и спектральные характеристики цели, совмещенный и вынесенный приемные пункты радиолокационной станции.

Введение

Постановка проблемы. В последнее время в научно-технической литературе большое внимание уделяется вопросам распознавания радиолокационных целей (РЛЦ) при использовании различных видов сигналов. При этом в реальных условиях наблюдения за целью ее радиолокационные характеристики во времени носят, как правило, случайный характер. Это в основном объясняется тем, что происходит случайное изменение взаимного расположения элементарных отражателей цели и неизвестное перемещение цели относительно наблюдаемой РЛС. Все это приводит к тому. Что отраженные от цели сигналы также носят случайный характер. При наблюдении за целью для получения признаков распознавания в течении некоторого интервала времени появляется возможность совместного многократного измерения интенсивностей отраженных сигналов. Тогда получение информации о признаках распознавания с использованием случайного характера отраженных сигналов возможно при проведении совместной корреляционной обработки, в частности, интенсивностей данных сигналов. Поэтому проведение анализа матрицы интенсивности отраженных многократно измеренных сигналов является актуальной проблемой, позволяющей установить объем информации, которая может быть использована для распознавания целей.

Анализ публикаций. К настоящему времени появился ряд публикаций [1, 2], в которых рассматриваются вопросы корреляционной обработки отраженных от цели сигналов для получения признаков распознавания целей. Наиболее подробно данная информация проанализирована в [2]. Однако, в данной монографии рассмотрена только информация, получаемая из матрицы интенсивностей временных и частотных корреляционных функций при наблюдении за целью РЛС с совмещенным приемом. Анализ информации о характеристиках цели,

содержащую в матрице пространственно-временных корреляционных функций интенсивностей, принимаемых в многопозиционных РЛС, практически время не уделялось.

Целью статьи является проведение анализа матрицы пространственно-временных корреляционных функций интенсивностей отраженных и рассеянных целью сигналов для выделения информации, которая может быть использована при решении задачи распознавания.

Изложение основного материала

В связи с тем, что в реальных условиях радиолокационного наблюдения за целью изменение ее радиолокационных характеристик во времени носят случайный характер, рассмотрим эти характеристики с вероятной точки зрения.

Предположим, что цель облучается монохроматической волной частоты на взаимно ортогональных поляризациях. Прием отраженных сигналов происходит в совмещенном и вынесенном пунктах. В этом случае при рассмотрении пространственно-временной матрицы интенсивностей сигналов предполагается, что в обоих приемных пунктах производится измерение матрицы квадратов амплитуд отраженных и рассеянных целью сигналов, которая представляет собой поляризационную матрицу рассеяния (ПМР), в виде:

$$S^{(q,p)}(t, \beta) = \begin{pmatrix} |\dot{E}_{11}^{(q,p)}(t, \beta)|^2 & |\dot{E}_{12}^{(q,p)}(t, \beta)|^2 \\ |\dot{E}_{21}^{(q,p)}(t, \beta)|^2 & |\dot{E}_{22}^{(q,p)}(t, \beta)|^2 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где индексы “q”, “p” обозначают поляризационные базисы сигналов на прием и передачу.

Матрица интенсивностей отраженных сигналов получается при $\beta = 0$ – угол разноса РЛС.

Так как в полете цели помимо поступательного совершают относительное движение, то информация об их характеристиках будет содержаться в

спектрах флуктуаций как каждого отдельного элемента матрицы (1), так и во взаимных спектрах флуктуаций каждого элемента с др. элементами.

Рассмотрим возможности получения информации при многократном измерении матриц вида (1) одновременно в совмещенном и вынесенном пунктах приема в рамках корреляционной теории [3].

Пользуясь векторной записью, образуем вектор в восьмимерном пространстве в виде:

$$S(t_i, p_1, t_j, p_k) = \begin{pmatrix} S^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1) \\ S^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где блоки $S^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)$, $S^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)$ являются векторами (1) в два различных момента времени и для двух разнесенных приемных пунктов.

Производя перемножение вектора (2) на транспонированный ему вектор и выполнить усредненную операцию, получим набор характеристик, при анализе которого можно производить описание спектров флуктуаций квадратов огибающих амплитуд сигналов, принимаемых в совмещенном и вынесенном пунктах. Данный набор может быть записан в виде (3).

Рассмотрим более подробно, какая информация о цели содержится в элементах матрицы (3).

При $i = j$, $\beta_i = \beta_k = 0$ блоки

$$V = (t_i, \beta_i, t_j, \beta_k) = V(t_i)$$

представляют собой матрицы вторых начальных моментов векторов $|\dot{E}(t_i)|^2$ и $|\dot{E}(t_j)|^2$ соответственно. Они характеризуют статистические связи элементов вектора (1) в фиксированные моменты времени t_i и t_j и могут быть интерпретированы как энергетические характеристики ПМР цели при совмещенном приеме.

Диагональные элементы этих блоков определяют общую мощность флуктуаций элементов данного вектора, а недиагональные – степень их статистической связи. Все диагональные элементы матрицы (3) при $i = j$ вещественны, а элементы, симметричные относительно главной диагонали, комплексно сопряженные, и вся матрица (3) является эрмитовой матрицей.

При $\beta_i = \beta_k = \beta$, все сказанное выше относится к цели, характеристики которой определяются в вынесенном приемном пункте с углом разноса β .

При $\beta_i = 0$, $\beta_k = \beta$, блоки $V(t_i, \beta)$ характеризуют статистическую связь между квадратами отраженных целью сигналов, принимаемых в совмещенном и вынесенном пунктах.

При $i \neq j$ и $\beta_i = \beta_k = 0$, блоки матрицы (3) V_{12} и V_{21} дают равноценную информацию о спектрах

флуктуаций элементов $|E_{ki}(t)|^2$ при совмещенном приеме. Диагональные элементы этих блоков характеризуют спектр флуктуаций каждого отдельного элемента со всеми остальными.

При $\beta_i = \beta_k = \beta$ блоки матриц $V(t_i, t_j, \beta)$ дают аналогичную информацию, получаемую в вынесенном приемном пункте с углом разноса β .

При $\beta_i = 0$, $\beta_k = \beta$ блоки этих матриц содержат информацию о статистической связи между элементами матриц при совмещенном и разнесенном приеме в разные моменты времени.

$$V(t_i, \beta_i, t_j, \beta_k) = \begin{pmatrix} |\dot{E}_{11}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{11}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{12}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{11}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{21}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{11}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{22}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{11}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{11}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{11}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{12}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{12}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{21}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{12}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{22}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{21}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{11}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{22}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{12}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{21}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{21}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{21}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{11}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{22}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{12}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{22}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{21}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{22}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \\ |\dot{E}_{22}^{(q_1, p)}(t_i, \beta_1)|^2 & |\dot{E}_{22}^{(q_k, p)}(t_j, \beta_k)|^2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Проведенный анализ (3) позволяет сделать предварительный вывод о возможности получения информации о характеристиках цели при проведении корреляционной обработки матрицы пространственно-временных функций интенсивностей отраженных и рассеянных сигналов. Для более подробного анализа воспользуемся математической моделью наблюдаемой цели [4].

В этом случае полагаем, что цель состоит из отдельных рассеивающих центров, N_1 из которых наблюдается в совмещенном пункте, а N_2 – в вынесенном пункте.

Рассеивающие свойства каждого центра описываются своей поляризационной матрицей рассеяния вида:

$$S_i^{(p)} = \begin{pmatrix} \dot{S}_{11}^{(p)} & \dot{S}_{12}^{(p)} \\ \dot{S}_{21}^{(p)} & \dot{S}_{22}^{(p)} \end{pmatrix} - \text{совмещенный пункт,}$$

$$S_i^{(q,p)} = \begin{pmatrix} \dot{S}_{11}^{(q,p)} & \dot{S}_{12}^{(p)} \\ \dot{S}_{21}^{(q,p)} & \dot{S}_{22}^{(p)} \end{pmatrix} - \text{вынесенный пункт,}$$

с учетом данной математической модели выражения для элементов матрицы квадратов амплитуд сигналов, принимаемых в совмещенном и вынесенном пунктах, могут быть записаны в виде:

$$\left| \dot{E}_{ki}^{(p)}(t) \right|^2 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{n=1}^{N_2} \dot{S}_{\min}^{(p)}(t) \dot{S}_{\min}^{(p)}(t) e^{-j2m[x_i(t) - x_n(t)]}, \quad (4)$$

$$\left| \dot{E}_{ki}^{(q,p)}(t, \beta) \right|^2 = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{n=1}^{N_2} \dot{S}_{ki}^{(q,p)}(t, \beta) \dot{S}_{ki}^{(q,p)}(t, \beta) \times e^{-j2m\{(1+\cos\beta)[x_i(t) - x_n(t)] + [y_n(t) - y_i(t)]\sin\beta\}}, \quad (5)$$

где $m = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; x_i – координата i -го рассеивающего центра вдоль линии визирования со стороны совмещенного пункта; y_i – координата i -го рассеивающего центра в направлении, перпендикулярном линии визирования со стороны совмещенного пункта.

Так как в выражения (4) и (5) входят не только коэффициенты рассеяния центров цели, но и зави-

сящие от времени их координаты, то эти соотношения могут быть использованы в качестве исходных при проведении их корреляционной обработки для определения геометрических характеристик и скоростей вращения целей, представляющих собой признаки распознавания. Аналогичные выкладки подробно приведены [5].

Выводы

Таким образом, рассмотренный анализ показал, что при проведении корреляционной обработки элементов матрицы пространственно-временных функций интенсивностей отраженных и рассеянных целью сигналов может быть получена информация о геометрических характеристиках и скорости вращения наблюдаемой цели, которые можно использовать в качестве признаков распознавания.

Список литературы:

1. Казаков Е.Л. Поляризационные методы распознавания радиолокационных целей / Е.Л. Казаков, А.Е. Казаков // Прикладная радиоэлектроника. – Х.: АНПРЭ, 2002. – № 1. – С. 155 – 164.
2. Бабаков М.Ф. Применение поляризационно-модулированных сигналов для селекции и распознавания радиолокационных объектов / М.Ф. Бабаков, А.В. Попов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1999. – № 11. – С. 42 – 49.
3. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория // Под ред. Я.Д. Ширмана. Справочник. – М.: Радиотехника. – 2007. – 510 с.
4. Канарейкин Д.Б., . Поляризация радиоэлектронных сигналов / Д.Б. Канарейкин, Н.Ф. Павлов, В.А. Потехин. – М.: Сов. радио, 1966. – 440 с.
5. Лоуэншус О. Применение матрицы рассеяния / О. Лоуэншус // ТИИЭР. – 1965. – Т. 53, № 8. – С. 1132 – 1137.
6. Корн Г.А. Справочник по математике / Г.А. Корн, Т.М. Корн. Пер. с англ. – М.: Наука, 1973. – 831 с.

Поступила в редколлегию 27.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. Г.В. Ермаков, Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков.

АНАЛІЗ МАТРИЦІ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ ІНТЕНСИВНОСТЕЙ ВІДБИТИХ І РОЗСІЯНИХ ЦІЛЛЮ СИГНАЛІВ

Є.Л. Казаков, О.В. Коломійцев, С.І. Клівець

Розглядаються можливості отримання інформації про характеристики цілі по просторово-часовій матриці інтенсивності сигналів, що приймаються в поєднаному і винесеному пунктах з використанням кореляційної теорії. Проводиться аналіз енергетичних і спектральних властивостей цілі, що флюктує. Отримані аналітичні вирази для розрахунків. Зроблені висновки.

Ключові слова: ціль радіолокації, що флюктує, енергетичні і спектральні характеристики цілі, поєднаний і винесений приймальні пункти радіолокаційної станції.

ANALYSIS OF MATRIX OF SPATIO-TEMPORAL CROSS-CORRELATION FUNCTIONS OF INTENSITIES OF THE SIGNALS REFLECTED AND DISSIPATED BY AIM

E.L. Kazakov, O.V. Kolomitsev, S.I. Klivets

Possibilities of receipt of information are examined about descriptions of aim on the spatio-temporal matrix of intensities of the signals accepted in combined and taken away points with the use of cross-correlation theory. The analysis of power and spectral properties of fluctuation aim is conducted. Analytical expressions are got for calculations. Drawn conclusion.

Keywords: radio-location fluctuation aim, power and spectral descriptions of aim, combined and taken away receiving points of the radio-location station.