

НОВЫЙ КРИТЕРИЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Габриэлян Д.Д., Звездина Ю.А., Сильницкий С.А.

Ростовская академия сервиса (филиал) ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: zvezdina_m@mail.ru

Аннотация. Предложен новый критерий выбора весовых коэффициентов оптимальной пространственно-поляризационной обработки сигналов в адаптивных антенных решетках систем радиосвязи.

Вопросы оптимальной пространственно-поляризационной обработки сигналов являются в настоящее время и ближайшей перспективе одними из наиболее актуальных при функционировании радиосредств различного назначения. Это связано с постоянно возрастающей плотностью размещения радиосредств и повышением интенсивности их использования. Особенностью функционирования большинства из них является постоянное присутствие как полезного, так и большого числа мешающих (помеховых) сигналов.

Как известно, большинство известных алгоритмов пространственно-поляризационной обработки в значительной степени теряют свою эффективность при прохождении полезного сигнала в устройство формирования ковариационной матрицы помех [1-3]. Это связано с тем, что при построении таких алгоритмов используются критерии безусловного максимума отношения сигнал/(помеха+шум) (ОСПШ), не учитывающие предварительной обработки для исключения прохождения полезного сигнала в устройство формирования ковариационной матрицы помех. Ряд вопросов, касающихся построения алгоритмов с учетом предварительной обработки рассмотрен в [4]. В связи с этим актуальными являются вопросы построения новых критериев пространственно-поляризационной обработки полезных и помеховых сигналов, обеспечивающих максимум ОСПШ при условии проведения предварительной обработки, направленной на исключение полезного сигнала из устройства формирования ковариационной матрицы помех.

Целью доклада является построение такого критерия.

Рассмотрим плоскую антенную решетку, содержащую $2N$ излучателей, обеспечивающую прием $L+1$ одновременно присутствующих сигналов произвольной поляризации. Каждый из сигналов в общем случае может быть представлен двумя компонентами напряженности электрического поля во фронте волны E_l^θ и E_l^φ . Параметры излучающего раскрыва (число,

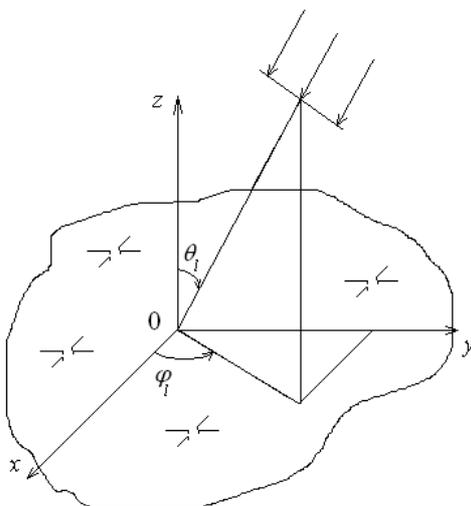


Рисунок 1

положения центров и диаграммы направленностей излучателей), параметры полезного сигнала (направление прихода, поляризация и временная структура) являются известными. Аналогичные параметры помеховых сигналов неизвестны.

Расположение излучателей в составе АР показано на рисунке 1. При построении излучающего раскрыва наиболее простым с точки зрения технической реализации обработки сигналов эллиптической поляризации будет расположение центров пар излучателей, ориентированных вдоль ортогональных осей, в одной точке.

Требуется определить весовые коэффициенты обработки сигналов с выходов излучателей, обеспечивающих при условии одновременного присутствия полезного и помеховых сигналов максимум отношения мощности полезного сигнала ($l=0$) к сумме мощностей помеховых сигналов ($l=1...L$) и шумов.

В условиях постановки данной задачи каждый из $L+1$ принимаемых сигналов произвольной поляризации на выходах излучателей в общем случае может быть определен, как предложено в [4], следующим образом:

$$S_l = T(\theta_l, \varphi_l)V_l, \quad (1)$$

где T - диагональная матрица размерности, учитывающая проекцию напряженности вектора электрического поля на ортогонально расположенные излучатели

$$T_{i,i}(\theta_l, \varphi_l) = \begin{cases} E_l^\theta \cos \theta_l \cos \varphi_l - E_l^\varphi \sin \varphi_l, & i = 1, \dots, N, \\ E_l^\theta \cos \theta_l \sin \varphi_l + E_l^\varphi \cos \varphi_l, & i = N+1, \dots, 2N, \end{cases} \quad (2)$$

V_l - вектор-столбец размерности $2N \times 1$, элементы которого являются обобщенными напряжениями. Элементы вектора V_l зависят от геометрии антенной решетки и направления прихода l -го сигнала. В соотношениях (2) θ_l, φ_l - направление прихода волны l -го сигнала.

Для исключения полезного сигнала из устройства формирования ковариационной матрицы помех проведем взвешенное суммирование сигналов с выходов излучателей:

взвешенное суммирование сигналов для формирования ковариационной матрицы помех направлено на исключение полезного сигнала из совокупности принимаемых;

взвешенное суммирование сигналов, поступающих на выход антенны, направлено на наилучший прием полезного сигнала.

Физически это достигается формированием двух совокупностей подрешеток соответственно $\tilde{\Sigma}_1, \tilde{\Sigma}_2, \dots, \tilde{\Sigma}_{2K}$ и $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_{2K}$ по M элементов каждая.

Преобразование сигналов в каждой из подрешеток первой группы может быть представлено следующим образом

$$\tilde{S}_l^{(t)} = \tilde{D}S_l, \quad (l = 0, \dots, L), \quad (3)$$

при этом $\tilde{S}_0^{(t)} = \sum_{m=1}^M \tilde{W}_m^{(t)} S_0^{(t)} = 0, \quad \tilde{S}_l^{(t)} = \sum_{m=1}^M \tilde{W}_m^{(t)} S_l^{(t)}, \quad \tilde{D} = \bigoplus_{k=1}^{2K} \tilde{D}_{kk}.$

В свою очередь, суммирование сигналов с выходов излучателей в подрешетках второй группы может быть описано как некоторое преобразование принимаемых сигналов с помощью матрицы $D = \bigoplus_{k=1}^{2K} D_{kk}$, являющейся также блочно-диагональной матрицей. Каждый из диагональных блоков данной матрицы, имеющих размерность $1 \times M$, определяется соотношением

$$D_{kk} = [\exp\{ik\varphi(x_1, y_1, z_1, \theta_0, \varphi_0)\} \dots \exp\{ik\varphi(x_M, y_M, z_M, \theta_0, \varphi_0)\}] ,$$

учитывающим установку главного максимума ДН подрешетки в направлении прихода полезного сигнала.

Выбор весовых коэффициентов для пространственно-поляризационной обработки сигналов на выходе антенны проводится на основе критерия максимума ОСПШ

$$\max_{\{W\}} \left(\frac{v_0(W)^T (DS_0)^* (DS_0)^T (W)^*}{(W)^T \left(E + \sum_{l=1}^L v_l (DS_l)^* (DS_l)^T \right) (W)^*} \right), \quad (4)$$

где E - единичная матрица размерности $2K \times 2K$; v_l - относительная мощность l -го сигнала; W - вектор-столбец размерности $2K \times 1$; «*», « T » - операции комплексного сопряжения и транспонирования соответственно.

Уравнение (3) содержит M неизвестных. Физически это означает, что существует бесконечно большое число наборов весовых коэффициентов для каждой подрешетки $\tilde{W}_m^{(t)}$, обеспечивающих предварительную обработку, направленную на исключение полезного сигнала из устройства формирования ковариационной матрицы помех. Это приводит к тому, что операция исключения полезного сигнала выполняется неоднозначно, и, следовательно, ковариационная матрица помех и оптимальный вектор весовых коэффициентов зависят от параметров преобразования $\tilde{W}_m^{(t)}$. Таким образом, достигаемое максимальное значение ОСПШ также зависит от данных параметров преобразования и определяется выражением

$$\max_{\{\tilde{W}\}} \left(\frac{v_0(W(\tilde{W}))^T (DS_0)^* (DS_0)^T (W(\tilde{W}))^*}{(W(\tilde{W}))^T \left(E + \sum_{l=1}^L v_l (DS_l)^* (DS_l)^T \right) (W(\tilde{W}))^*} \right). \quad (5)$$

Следовательно, достижение максимального ОСПШ связано с таким выбором весовых коэффициентов $\tilde{W}_m^{(t)}$ предварительной обработки, при которых достигается глобальный максимум функционала

$$\max_{\{\tilde{W}\}} \left\{ \max_{\{W\}} \left(\frac{v_0(W(\tilde{W}))^T (DS_0)^* (DS_0)^T (W(\tilde{W}))^*}{(W(\tilde{W}))^T \left(E + \sum_{l=1}^L v_l (DS_l)^* (DS_l)^T \right) (W(\tilde{W}))^*} \right) \right\}. \quad (6)$$

Выражение (6) является математической формулировкой выбора весовых коэффициентов обработки, обеспечивающих достижение максимума ОСПШ при условии предварительной обработки, направленной на исключение полезного сигнала из устройства формирования ковариационной матрицы помех. Данный критерий более полно учитывает условия функционирования систем радиосвязи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы. – М.: Высш. шк., 1990. – 500 с.
2. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.
3. Ратынский М.В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. – М.: Радио и связь, 2003. – 200 с.
4. Габриэлян Д.Д. и др. Квазиоптимальная обработка сигналов в адаптивных антенных решетках // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2009. - №5. – С.52-55.