

УДК 621.392.82

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДАПТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИИ МЕРЦАЮЩИХ ПОМЕХ

К. т. н. А. И. Неврев

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

a.i.nevrev@gmail.com

*Проведен анализ эффективности стохастического градиентного метода адаптивной настройки систем компенсации в условиях воздействия мерцающих помех. Получены выражения для весового вектора обработки при периодической смене пространственной конфигурации помех. Показано, что в установившемся режиме система компенсации эффективно подавляет все действующие помехи.*

*Ключевые слова:* адаптивные алгоритмы, системы компенсации помех.

Исследования эффективности адаптивных систем компенсации в нестационарной помеховой обстановке затруднено нелинейным характером трансформации корреляционной матрицы помех [1, 2]. Конструктивные результаты возможно получить лишь при анализе простых моделей нестационарностей. Достаточно распространенной для систем помехозащиты является ситуация воздействия «мерцающих» помех. Такого рода ситуация представляет набор импульсных источников активных шумовых помех, разнесенных в пространстве. Их расположение априори неизвестно, также как и временные параметры их случайного «мерцания». Мерцающие помехи считают эффективным средством подавления средств радиолокации и радионавигации [2].

Цель работы — исследование эффективности адаптивных систем компенсации в условиях мерцающих помех. Рассмотрим, таким образом, упрощенную модель периодических мерцающих помех, когда в течении  $m_1$  интервалов адаптации действуют пространственные помехи с корреляционной матрицей  $R_1$ , а в течении следующих  $m_2$  интервалов — помехи с корреляционной матрицей  $R_2$ . Настройка системы компенсации по критерию максимума отношения сигнал/помеха производится широко известным простым стохастическим итеративным методом, аппроксимирующим работу автокомпенсаторов помех с корреляционными обратными связями [1, 2]:

$$W_{n+1} = W_n - \gamma(X_n X_n^* W_n - S) \quad (1)$$

где  $W_n$  —  $N$ -мерный комплексный вектор весов обработки в  $n$ -й момент времени,  $\gamma$  — скалярный коэффициент усиления,  $S$  — вектор огибающей полезного сигнала,  $X_n$  — вектор огибающей помехи, имеющей в соответствии с принятой моделью одну из двух возможных корреляционных матриц:

$$M[X_i X_i^*] = R_1 \text{ или } M[X_i X_i^*] = R_2. \quad (2)$$

Определим среднее значение вектора настройки  $M[W_n] = \hat{W}_n$ , которое при начальном векторе  $W_0$  через  $m = m_1 + m_2$  итераций определится соотношением

$$\hat{W}_m = (I - \gamma R_1)^{m_1} (I - \gamma R_2)^{m_2} W_0 + (I - \gamma R_2)^{m_2} \gamma \sum_{i=0}^{m_1-1} (I - \gamma R_1)^i S + \sum_{i=0}^{m_2-1} (I - \gamma R_2)^i S. \quad (3)$$

Вводя обозначения:

$$(I - \gamma R_1)^{m_1} = A_1, \quad (I - \gamma R_2)^{m_2} = A_2, \quad \gamma \sum_{i=0}^{m_1-1} (I - \gamma R_1)^i S = S_1, \quad \gamma \sum_{i=0}^{m_2-1} (I - \gamma R_2)^i S = S_2, \quad (4)$$

через  $nm$  итераций получим

$$\hat{W}_{nm} = (A_2 A_1)^n W_0 + \sum_{i=0}^{n-1} (A_1 A_2)^i (A_2 S_1 + S_2), \quad (5)$$

$$\hat{W}_{nm+m_1} = (A_1 A_2)^n A_1 W_0 + (A_1 A_2)^n S_1 + \sum_{i=0}^{n-1} (A_2 A_1)^i (A_1 S_2 + S_1). \quad (6)$$

Соотношения (5) и (6) определяют вид вектора  $\hat{W}_i$  в конце воздействия помехи с корреляционной матрицей  $R_2$  или  $R_1$ . Устремляя  $n \rightarrow \infty$ , получим два установившихся значения вектора настройки:

$$\hat{W}_{2\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \hat{W}_{nm} = (I - A_2 A_1)^{-1} (A_2 S_1 + S_2), \quad (8)$$

$$\hat{W}_{1\infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \hat{W}_{nm+m1} = (I - A_1 A_2)^{-1} (A_1 S_2 + S_1). \quad (9)$$

Таким образом, в установившемся режиме среднее значение весового вектора системы компенсации периодически перестраивается от значения (9)  $\hat{W}_{1\infty}$  после воздействия помех с корреляционной матрицей  $R_1$  к значению (8)  $\hat{W}_{2\infty}$  после воздействия помех с корреляционной матрицей  $R_2$ .

Теперь необходимо выяснить степень подавления обеих помеховых ситуаций вектором  $\hat{W}_{1\infty}$  и  $\hat{W}_{2\infty}$ . Рассмотрим ситуацию достаточно малых  $\gamma$  и  $m1, m2$ , когда  $(1 - \gamma \lambda_{i \text{ макс}})^{mi} \rightarrow (1 - \gamma m_i \lambda_{i \text{ макс}})$ .

В этом случае можно показать, что

$$\hat{W}_{1\infty} \rightarrow (m1 R_1 + m2 R_2)^{-1} S \quad \text{и} \quad \hat{W}_{2\infty} \rightarrow (m1 R_1 + m2 R_2)^{-1} S. \quad (10)$$

Соотношения (10) означают, что любое из значений вектора настройки будет осуществлять подавление помех и из первой, и из второй помеховой ситуации. Таким образом, в установившемся режиме работы алгоритма (1) следует ожидать высокой степени подавления любой из помех.

Полученные выводы подтверждаются и результатами численных расчетов, сведенных в табл. 1 и 2. Рассматривается случай мерцания двух пространственных помех. Весовой вектор  $W_n$  системы компенсации определялся по (8) и (9) для 10-элементной антенной решетки. Различные значения  $m1, m2, \gamma$  и угловые координаты помех  $\mu_1$  и  $\mu_2$  указаны в таблице. Здесь приведены коэффициенты подавления (в децибелах) каждой из помех фильтрами (8) и (9), оптимальными фильтрами подавления каждой помехи  $R_i^{-1} S$  и фильтром, осуществляющим подавление обеих помех  $W_{\text{опт}} = (R_1 + R_2)^{-1} S$ .

Таблица 1. Значения коэффициента подавления помех  $\sigma(\mu_i) = W^* R_i W$  для мерцающих помех

Значения $\mu_i, \gamma$	Параметры мерцания		$\sigma(\mu_i)$ для вектора (9)		$\sigma(\mu_i)$ для вектора (8)	
	$m1$	$m2$				
$\mu_1=0,3; \mu_2=0,5; \gamma=0,05$	1	19	92	113	86	116
	19	1	112	90	109	96
$\mu_1=0,3; \mu_2=0,5; \gamma=0,001$	1	19	87	116	86	116
	19	1	112	90	112	90

Таблица 2. Значения коэффициента  $\sigma(\mu_i)$  при отсутствии помех

Значения $\mu_i$	$\sigma(\mu_i)$ для вектора $R_1^{-1} S$	$\sigma(\mu_i)$ для вектора $R_2^{-1} S$	$\sigma(\mu_i)$ для вектора $(R_1 + R_2)^{-1} S$			
$\mu_1=0,3; \mu_2=0,5$	112	17	13	117	106	110

Таким образом, в противоположность ожидаемой существенной деградации характеристик, простой стохастический градиентный метод настройки системы компенсации оказывается в высокой степени работоспособным в условиях воздействия мерцающих помех.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Абрамович, Ю.И. К анализу эффективности адаптивных алгоритмов, использующих корреляционные обратные связи // Радиотехника и электроника.— 1979.— № 2.— С. 302—308.
2. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. Москва: Радио и связь, 1989.

A. I. Nevrev

#### Efficiency of adaptive compensation of flickering noise.

Efficiency of the stochastic gradient method for adaptive adjustment of compensation systems in the condition of flickering spatial noise has been analyzed. Expressions for weight vector of the compensation system are obtained in case of periodic change in noise spatial configuration. It is shown that in the steady state such compensation system effectively suppresses all active noise.

Keywords: *adaptive algorithms, noise compensation system.*