

де  $\mathbf{R}_l = E\{\mathbf{h}_{l,k}\mathbf{h}_{l,k}^H\}$  – матриця кореляції розміром  $M_R \times M_R$  між  $\mathbf{h}_{l,k}$  комплексними імпульсними відгуками дискретного у часі MIMO каналу з завмираннями на несучій  $k$ .  $\mathbf{R}_l$  не залежить від номеру несучої  $k$ , тобто статистичні данні однакові для усіх передавальних антен;

$\lambda_i(\mathbf{R})$  –  $i$ -е власне число сумарної матриці кореляції  $\mathbf{R}$ .

Питома пропускна здатність, що визначається за виразом (14) передбачає, що процес завмирань є ергодичним, над OFDM символами проводиться кодування та перемеження. Кількість блоків з завмираннями, що займаються кодовим словом стримиться до нескінченності, тоді як розмір блоку (що дорівнює числу субнесучих в OFDM системі помноженому на кількість OFDM символів, що передаються в одній реалізації каналу) залишається постійним (та скінченним). Ця питома пропускна здатність досягається передачею кодового слова в дуже великій кількості блоків з незалежними завмираннями. З формули (13) видно, що питома пропускна здатність MIMO-OFDM системи залежить від кореляції завмирань сигналів, що передаються на однакових частотах з окремих антенних елементів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гармонов А. В. и др. Технология OFDM и варианты множественного доступа на ее основе // Мобильные системы. – 2005. – № 10. – С. 12–18.
2. Невдяев Л. М. Телекоммуникационные технологии. Англо-русский умный словарь-справочник / [под редакцией Ю. М. Горностаева]. – М. : МЦНТИ – международный центр научной и технической информации, ООО «Мобильные коммуникации», 2002. – 592 с. – (серия изданий «Связь и бизнес»)
3. Nee R., Prasad R. OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House Publishers, Boston, London, 2000.
4. Coleri S., Ergen M., Puri A., Bahai A. A study of channel estimation in OFDM systems, IEEE vehicular technology conference, Vancouver, Canada, September, 2002.
5. Gesbert D., Shafi M., Shan Shiu D., Smith P. J., Naguib A. From theory to practice: an overview of MIMO space-time coded wireless systems, IEEE J. Selected Areas Comm., vol. 21, 2003. – pp. 281–302.
6. Paulraj A. J., Gore D. A., Nabar R. U., Bolcskei H. An overview of MIMO communications – A key to Gigabit wireless, Proceedings of the IEEE, Vol. 92, No. 2, Feb. 2004. – pp. 198–218.
7. Gordon L. Broadband MIMO-OFDM Wireless Communications. Proceedings of the IEEE, Vol. 92, No. 4, Apr. 2004. – pp. 314–325.

**А. В. Сергиенко,**

*кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры компьютерной инженерии  
факультета компьютерных наук и инновационных технологий,  
Международный гуманитарный университет*

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОМЕХОЗАЩИТЫ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ В ПРИЁМНЫХ КАНАЛАХ

Приведён сравнительный анализ множественных корреляционных и дисперсионных статистических связей сигналов после их нелинейных преобразований. Сделан вывод о целесообразности оценивания дисперсионных связей при разработке алгоритмов адаптации многоканальных систем помехозащиты.

Постановка проблемы.

В настоящее время имеет место существенный (почти экспоненциальный) рост количества радиоэлектронных средств различного назначения (наземная и

космическая радиосвязь, телевидение, радиолокация, радионавигация и др.) [1; 2]. Это приводит к возникновению взаимных влияний и непреднамеренных помех. В этих условиях обеспечение требуемого уровня помехозащищённости и пропускной способности беспроводных сетей передачи данных и сетей мобильной связи становится весьма актуальной научно-технической проблемой [2; 3].

Одним из возможных и весьма перспективных путей решения указанной проблемы является применение в беспроводных сетях передачи данных и сетях мобильной связи 3-го, 4-го поколений фазированных (ФАР) и цифровых антенных решёток (ЦАР) [1]. На их основе возможно построение многоканальных систем помехозащиты, алгоритмы работы которых основаны на оценивании корреляционных статистических связей сигналов [2; 3]. Эти связи в полной мере отражают степень взаимозависимости сигналов при высокой линейности и идентичности приёмных каналов, а также гауссовом помеховом фоне. В многоканальных системах обеспечение идентичности и линейности амплитудно-частотных характеристик приёмных трактов является сложной технической задачей. Поэтому, в условиях воздействия мощных помех, представляется целесообразным устанавливать в приёмных каналах амплитудные ограничители, а при разработке алгоритмов адаптации – использовать более сильные, по сравнению с корреляционными – дисперсионные статистические связи между сигналами.

Постановка задачи.

В данной статье поставлена задача проанализировать алгоритмы компенсации помех в многоканальных системах, основанные на оценивании корреляционных и дисперсионных связей сигналов. Оценить показатели качества этих алгоритмов и провести их сравнительный анализ.

Основная часть.

Пусть система помехозащиты имеет  $m+1$  канал, один из которых является основным, а остальные – дополнительными:

$$v_k(t) = g_k[\xi_k(t)] \quad (1)$$

где

$v_1(t)$  – сигнал основного канала;

$v_2(t), \dots, v_{m+1}(t)$  – сигналы дополнительных каналов;

$g_k(\xi_k)$  – дифференцируемые нелинейные функции, осуществляющие взаимно однозначное преобразование сигналов, в том числе и их амплитудное ограничение.

Если  $h$  – вектор размерности  $m$ , то его значение, отыскиваемое из условия:

$$\min D_{v_1}(v_1 - h^T v_{(2)}) \quad (2)$$

где

$D_{v_1}(\ast)$  – дисперсия соответствующей случайной величины, полученная при фиксированном векторе  $v_{(2)}$ , равно:

$$h = Q_{22}^{-1} Q_{21} \quad (3)$$

где

$$Q = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{pmatrix} - \text{корреляционная матрица вектора } \begin{pmatrix} v_1 \\ v_{(2)} \end{pmatrix}.$$

Отсюда следует, что оптимальным с точки зрения минимума мощности выходного сигнала, является следующий алгоритм компенсации:

$$z_{\rho}(t) = v_1(t) - E v_1(t) - Q_{12} Q_{22}^{-1} (v_{(2)}(t) - E v_{(2)}(t)), \quad (4)$$

который является линейным, по отношению к вектору компенсирующих сигналов. С учётом (4) данный алгоритм можно переписать в виде:

$$z_{\rho}(t) = v_1(t) - E^{\rho} [v_1(t)/v_2(t)], \quad (5)$$

где

$E^{\rho} [v_1(t)/v_2(t)]$  – условное среднее, полученное при ограничении на его линейность по отношению к вектору  $v_{(2)}$ .

$\rho$  – индекс, указывающий на использование корреляционной обработки сигналов.

Если на компенсирующий сигнал не накладывается ограничение линейности, то алгоритм компенсации принимает вид:

$$z_{\eta}(t) = v_1(t) - E^{\eta} [v_1(t)/v_2(t)] \quad (6)$$

где

$E^{\eta} [v_1(t)/v_2(t)]$  – условное среднее, полученное при возможных нелинейных искажениях вектора  $v_{(2)}$ .

$\rho$  – индекс, указывающий на использование дисперсионной обработки сигналов.

Итак, имеется два алгоритма компенсации мешающих сигналов, оптимальные в смысле минимума среднеквадратического значения. Первый из них получен при введении дополнительного условия – его линейности по отношению к вектору компенсирующих сигналов.

Для сравнения данных алгоритмов воспользуемся известными характеристиками – множественным коэффициентом корреляции и корреляционным отношением [4]. Рассмотрим вектор  $\begin{pmatrix} v_1 \\ E(v_1)(v_2) \end{pmatrix}$ . Его корреляционная матрица равна:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \end{pmatrix} \sigma_{11} = Q_{11}, \quad \sigma_{12} = Q_{12} Q_{22}^{-1} Q_{21}, \quad \sigma_{22} = \sigma_{21} = \sigma_{12}$$

По определению, квадратом множественного коэффициента корреляции случайной величины  $v_1$  и случайного вектора  $v_{(2)}$  является следующее отношение:

$$\rho_{v_1/v_{(2)}}^2 = \frac{\sigma_{12}^2}{\sigma_{11}\sigma_{22}} = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_{11}} = Q_{12} Q_{22}^{-1} Q_{21} Q_{11}^{-1} \quad (7)$$

Поскольку  $\sigma_{12} = \sigma_{22}$ , то (7) можно переписать в виде:

$$\rho_{v_1/v_{(2)}}^2 = \frac{D[E^{\rho} [v_1/v_2]]}{D(v_1)} \quad (8)$$

По определению, множественное дисперсионное отношение равно:

$$\eta_{v_1/v_{(2)}}^2 = \frac{D[E^{\eta} [v_1/v_2]]}{D(v_1)} \quad (9)$$

Таким образом, квадрат множественного коэффициента корреляции и множественное дисперсионное отношение представляют собой отношения дисперсий условных средних сигналов основного канала (соответственно, с введением условия линейности и без введения этого условия) к дисперсиям сигналов этих каналов.

Данные показатели в основном характеризуют качество работы многоканальных систем помехозащиты при использовании корреляционной и дисперсионной обработки сигналов. Действительно, значения коэффициентов подавления при использовании алгоритмов компенсации (5) и (6) соответственно равны:

$$K_{\pi}^{\eta} = \frac{D(z_{\eta})}{D(v_1)} = (1 - \eta_{v_1/v(z)}^2)^{-1}, \quad (10)$$

Между данными показателями, также как и в случае одноканальных систем помехозащиты [4] имеют место следующие соотношения:

$$0 \leq \rho_{v_1/v(z)}^2 \leq \eta_{v_1/v(z)}^2 \leq 1, \quad 0 \leq K_{\pi}^{\rho} \leq K_{\pi}^{\eta} \leq 1, \quad (11)$$

Выводы.

Таким образом, путём сравнения характеристик множественной корреляционной и дисперсионной связей сигналов после их нелинейных преобразований можно сделать вывод о том, что последние являются более сильными и не зависят от нелинейных искажений сигналов в приёмных каналах. Следовательно, разработке алгоритмов функционирования ЦАР в случае, когда не удаётся избежать нелинейных искажений сигналов в приёмных каналах, или негауссовости помехового фона, необходимо оценивать не корреляционные, а дисперсионные связи сигналов. Следует отметить также, что дисперсионные статистические связи не противопоставляются корреляционным, а являются их естественным обобщением на случай негауссовского помехового фона или наличия нелинейных преобразований сигналов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. The Path to 4G Mobile // Communications Week International. – Issue 260, 5 March 2001. – P. 16–17.
2. Вишневецкий В. М., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахович И. В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневецкий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Сергиенко А. В. Целесообразность использования методов регрессии при разработке алгоритмов компенсации помех в радиолокационных станциях / А. В. Сергиенко // Тематический научно-технический сборник, ОИСВ. – Одесса, 2000.
4. Сергиенко А. В. Сравнительный анализ корреляционных и дисперсионных статистических связей сигналов / А. В. Сергиенко // Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету: [зб. наук. праць]; Серія: Інформаційні технології та управління проектами. – Одеса: Фенікс, 2012. – Вип. № 4. – 120 с.