

Слюсар Вадим Иванович  
доктор технических наук, профессор  
(Украина, [swadim@inbox.ru](mailto:swadim@inbox.ru))  
Малярчук Михаил Васильевич  
(Украина)

Slyusar Vadym  
(Ukraine, [swadim@inbox.ru](mailto:swadim@inbox.ru))  
Malarchuk Michail  
(Ukraine)

МОДЕЛЬ ОТКЛИКА ПРИЕМНОЙ ЦАР МУЛЬТИ-МИМО СИСТЕМЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ  
N-OFDM СИГНАЛЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ СТРОБИРОВАНИЕ ОТСЧЕТОВ АЦП  
A RESPONSE'S MODEL OF DIGITAL ANTENNA ARRAY FOR MULTI-MIMO SYSTEM  
WITH USE OF N-OFDM SIGNALS AND ADDITIONAL DECIMATION OF ADC

В работе приведено математическое описание отклика цифровой приемной антенной решетки (ЦАР), функционирующей в системе мульти-ММО при использовании неортогональной частотной дискретной модуляции (N-OFDM) сигналов, цифрового диаграммообразования и процедуры дополнительного стробирования отсчетов АЦП.

The paper considers a response's model of digital antenna array for multi-MIMO system with use of N-OFDM signals and improved additional ADC decimation.

При аналитическом описании откликов систем ММО и мульти-ММО обычно используют матрицу  $H$  характеристик передачи каналов связи. Однако для реализации алгоритмов помехозащиты на основе процедуры цифрового диаграммообразования целесообразно выделить в упомянутой матрице характеристик передачи детерминированную составляющую, описывающую диаграммы направленности вторичных пространственных каналов. Как отмечено в [1], это позволяет на этапе вхождения в связь определить угловые координаты источников помех, а также сформировать «нули» диаграммы направленности ЦАР в направлениях прихода мешающих сигналов. Опираясь на данный подход, можно реализовать также двухэтапную процедуру помехозащищенной демодуляции N-OFDM сигналов [2] в рамках технологии мульти-ММО-систем [3].

В любом из указанных случаев интерес представляет исследование зависимости предельных возможностей частотного уплотнения N-OFDM сигналов от пространственного разнесения направлений прихода сигналов. С этой целью получим аналитическое представление отклика линейной ЦАР, используемой в приемном сегменте системы мульти-ММО. Следуя [1], для описания отклика удобно применить матричную запись:

$$U = HA + N, \quad (1)$$

где  $U$  – вектор комплексных напряжений по выходам приемных каналов ЦАР,  $H$  – матрица обобщенных характеристик передачи каналов связи,  $A$  – вектор амплитуд сигналов,  $N$  – вектор напряжений аддитивных шумов.

При рассмотрении задачи пространственно-частотного кодирования, если номиналы частот поднесущих для каждой из передающих антенн являются разными, матрицу  $H$  в (1) можно представить в виде:

$$H = \tilde{H} \circ (Q[\otimes]F), \quad (2)$$

где  $\tilde{H}$  – матрица характеристик передачи трассы распространения сигналов соответствующих поднесущих,  $Q$  – матрица значений диаграмм направленности вторичных пространственных каналов приема,  $F$  – матрица амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) синтезированных в результате быстрого преобразования Фурье (БПФ) частотных

фильтров, “ $\mathbf{o}$ ” – поэлементное произведение Адамара,  $[\otimes]$  - блочное прямое произведение матриц.

Блочное прямое произведение также может применяться в случае многопользовательской системы ММО (мульти-ММО), когда в пределах одного терминала все передающие антенны работают на одинаковом наборе поднесущих, но диапазоны частот на образующих беспроводную сеть терминалах разные. Если же частоты поднесущих всех передатчиков на терминалах множества пользователей одинаковы, то в выражении (2) следует применить прямое произведение матриц:

$$H = \tilde{H} \mathbf{o}(Q \otimes F). \quad (3)$$

При использовании плоской ЦАР с факторизуемыми диаграммами направленности соотношения (2), (3) могут быть переписаны в виде:

$$H = \tilde{H} \mathbf{o}((Q_V \mathbf{n} Q_H) [\otimes] F), \quad (4)$$

$$H = \tilde{H} \mathbf{o}((Q_V \mathbf{n} Q_H) \otimes F), \quad (5)$$

где  $\mathbf{n}$  – символ матричного произведения Хатри-Рао [4],  $Q_V$ ,  $Q_H$  – матрицы факторизованных диаграмм направленности каналов ЦАР в вертикальной ( $Q_V$ ) и горизонтальной плоскостях ( $Q_H$ ). При этом следует привести в соответствие размерность матрицы  $\tilde{H}$ .

В случае выполнения в приемной ЦАР операции дополнительного стробирования отсчетов АЦП вектор напряжений откликов частотных фильтров БПФ на многочастотный пакет N-OFDM сигналов может быть получен, если сделать в (1) соответствующие подстановки матрицы  $H$ :

а) линейная ЦАР:

$$H = \tilde{H} \mathbf{o}(Q [\otimes] (\Theta \mathbf{n} F)), \quad (6)$$

где  $\Theta = [\theta_1(f_{11}) \quad \mathbf{L} \quad \theta_1(f_{M1}) \quad \mathbf{L} \quad \theta_P(f_{1P}) \quad \mathbf{L} \quad \theta_P(f_{MP})]$  – блочная вектор-строка ненормированной АЧХ цифрового фильтра дополнительного стробирования отсчетов АЦП на частотах поднесущих N-OFDM сигналов, приходящих от абонентских терминалов ММО;

$$H = \tilde{H} \mathbf{o}(Q \otimes (\Theta \mathbf{n} F)); \quad (7)$$

б) плоская ЦАР:

$$H = \tilde{H} \mathbf{o}((Q_V \mathbf{n} Q_H) [\otimes] (\Theta \mathbf{n} F)) \text{ или } H = \tilde{H} \mathbf{o}((Q_V \mathbf{n} Q_H) \otimes (\Theta \mathbf{n} F)). \quad (8)$$

Предлагаемая модель отклика ЦАР может быть использована для оценки качества функционирования системы мульти-ММО в различных ситуациях приема сигналов.

## Литература

1. Слюсар В. И., Масесов М.О. Метод просторово-часового кодирования сигналов тропосферного зв'язку на основі удосконаленої технології мульти-ММО. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2009. – Вип. 1. – С. 132 – 136. - [http://www.slyusar.kiev.ua/VITI\\_1\\_2009.pdf](http://www.slyusar.kiev.ua/VITI_1_2009.pdf).
2. Слюсар В.И., Волошко С.В. Метод помехозащищенной демодуляции сигналов N-OFDM в приемном сегменте ЦАР. //XV Международная научно-техническая конференция “Информационные системы и технологии (ИСТ-2009)”. - Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева. – 2009. - С. 6. - [http://www.slyusar.kiev.ua/IST\\_2009\\_3.pdf](http://www.slyusar.kiev.ua/IST_2009_3.pdf).
3. Слюсар В.И., Мальярчук М.В. Метод мульти-ММО для связи с БПЛА. // 9-а науково-технічна конференція «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах». – Феодосія, ДНВЦ ЗСУ. - 10 – 11 вересня 2009 р. - [http://www.slyusar.kiev.ua/FEOD\\_2009\\_1.pdf](http://www.slyusar.kiev.ua/FEOD_2009_1.pdf).
4. Слюсар В.И. Обобщенные торцевые произведения матриц в моделях цифровых антенных решеток с неидентичными каналами. //Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника.- 2003. - Том 46, № 10. - С. 9 - 17. - [http://www.slyusar.kiev.ua/IZV\\_VUZ\\_2003\\_10.pdf](http://www.slyusar.kiev.ua/IZV_VUZ_2003_10.pdf).