

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ АДАПТИВНЫХ КОМПЕНСАТОРОВ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ LMS-АЛГОРИТМА

Семибаламут К. М.¹; Литвинцев С. Н.², Жук С. Я.², д.т.н., профессор

¹ Военно-дипломатическая академия имени Евгения Березняка,
г. Киев, Украина

² Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,
г. Киев, Украина

Одним из способов защиты радиоэлектронных средств различного назначения от преднамеренных и непреднамеренных радиоэлектронных помех является применение пространственной селекции сигналов с помощью антенн, которые имеют острые диаграммы направленности (ДН) и малые уровни боковых лепестков. Однако, существует ряд ситуаций, когда для обеспечения требуемого отношения сигнал/помеха необходимо дополнительное снижение влияния радиопомех, которые принимаются по боковым лепесткам. Задача эта актуальная как с точки зрения защиты от помех, так и для обеспечения электромагнитной совместимости близко расположенных радиоэлектронных средств.

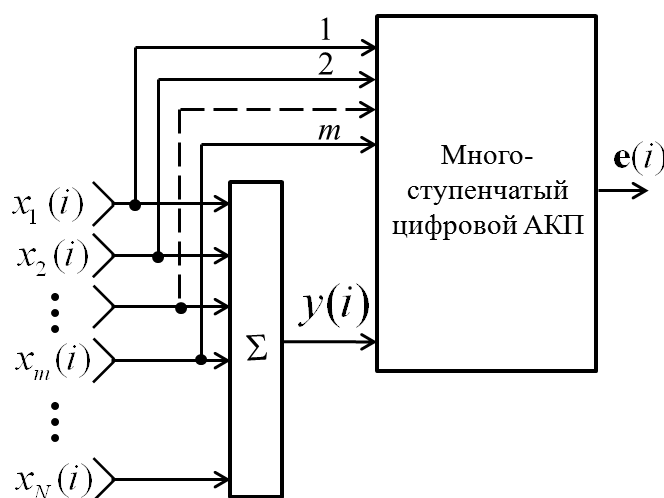


Рис. 1.

Известно ряд схемных решений для построения адаптивных компенсаторов помех (АНП), которые позволяют динамически изменять ДН антенны в области боковых лепестков, что важно при нестационарной радио-электронной обстановке [1]. Структурная схема цифровой линейной антенной решетки на основе многоступенчатого АНП приведена на рис. 1. Блок многоступенчатого цифрового АНП представляется в виде ступенчатых структур составленных из модулей одноступенчатых параллельных весовых сумматоров [2, 3].

Как известно, широкое распространение для адаптивной настройки весовых коэффициентов АНП получил LMS-алгоритм [1], который относится к классу алгоритмов стохастического градиентного поиска и обеспечивает квазиоптимальное решение определения весовых коэффициентов весовых сумматоров (модулей) по критерию минимума среднего квадрата ошибки при априорной неопределенности характеристик помех.

Вычисление весовых коэффициентов на основе LMS-алгоритма для модулей первой ступени $\hat{\mathbf{b}}_{j,1}$ выполняется по формуле [4]:

$$\hat{\mathbf{b}}_{j,1}(i) = \hat{\mathbf{b}}_{j,1}(i-1) + 2\mu \mathbf{x}_1^*(i) \left[x_j(i) - \mathbf{x}_1^T(i) \hat{\mathbf{b}}_{j,1}(i-1) \right], \quad (1)$$

где $\mathbf{x}_1^T(i) = (x_1(i), \dots, x_k(i))$ – вектор, отсчетов помеховых сигналов на входах компенсационных каналов АКП $j = \overline{1, k}$ на i -ом шаге (итерации); μ – шаговой множитель, определяющий скорость адаптации итерационного процесса и устойчивость адаптации; * – знак комплексного сопряжения. Определение весовых коэффициентов для модулей второй и последующих ступеней выполняется аналогично (1), но с использованием ортогонализированных регрессоров [4] и векторов остатков последующих ступеней.

Для анализа эффективности компенсации помех многоступенчатыми АКП на основе LMS-алгоритма вычисления весовых коэффициентов выполнено компьютерное моделирование его работы. Результаты моделирования представлены на рис. 2 в виде зависимостей мощности ошибок компенсации помех на выходе АКП от шага настройки (итерации). Для сравнения на рис. 2 приведены кривые адаптации для АКП, построенного по известной схеме одноступенчатого параллельного весового суммирования [1]. Моделирование выполнено для цифровой линейной эквидистантной антенной решетки с полуволновым расстоянием между приемными элементами решетки и АКП: 2-х ступенчатого, 3-х ступенчатого и 6-ти ступенчатого.

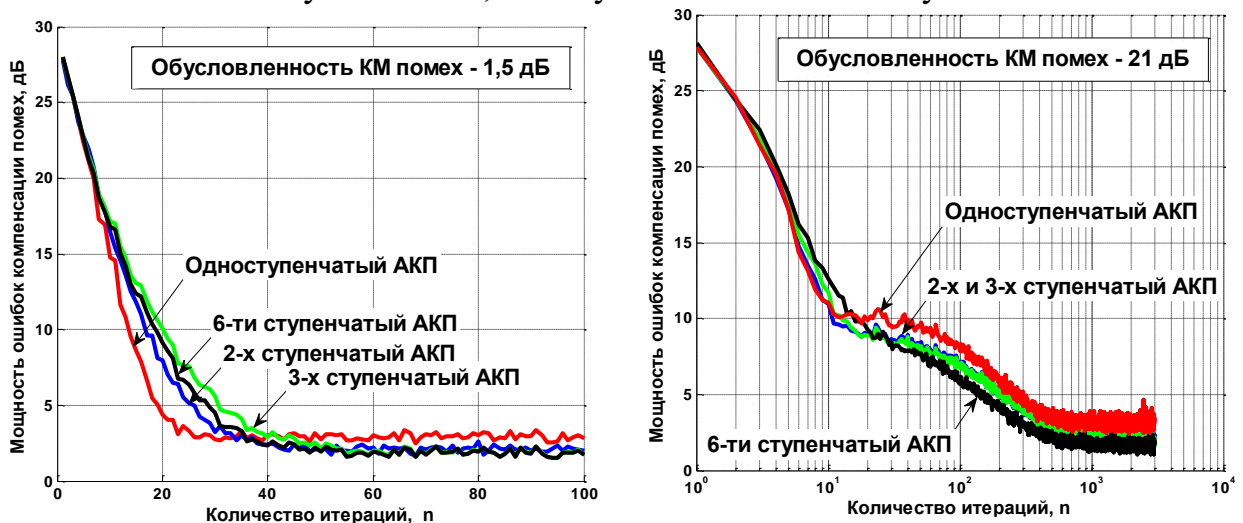


Рис. 2.

Исходные данные для моделирования выбраны следующие: количество приемных элементов основного канала антенной решетки $N=6$; количество компенсационных каналов АКП $m=6$; сигнал основного канала формируется путем суммирования входных сигналов $x_n(i)$, $n = \overline{1, N}$ антенной реше-

тки (рис. 1); в качестве компенсационных каналов используются каналы антенной решетки с номерами $n = \overline{1, m}$; количество постановщиков активных шумовых помех (ПАП) – 2; положения ПАП на азимутах: 35° и -35° ; суммарная мощность ПАП по отношению к уровню собственных шумов приемных каналов – 600, которая создает помеховую обстановку, характеризующую хорошей (1,5 дБ) и плохой (21 дБ) обусловленностью корреляционной матрицы (КМ) помех [2, 3]. Размер шагового множителя выбран для всех схем АКП и ситуаций равным $1,38 \times 10^{-4}$, что обеспечивает устойчивость адаптации и приемлемый уровень шумов градиента. Результаты моделирования (рис. 2) подтверждают практически равную эффективность рассмотренных схем АКП по уровню мощности ошибок компенсации помех, а также демонстрируют потенциальные возможности ускорения переходных процессов для схем многоступенчатых АКП в условиях плохой обусловленности КМ.

Перечень источников

1. Monzingo, Robert A. Introduction to adaptive arrays / Robert A. Monzingo, Randy L. Haupt, Thomas W. Miller. -2nd ed. Scitech publishing, inc. 2011. – 510 p.
2. Жук С.Я., Семибаламут К.М., Литвинцев С.Н. Многоступенчатая адаптивная компенсация активных шумовых помех с блочной ортогонализацией сигналов компенсационных каналов. Изв. вузов. Радиоэлектрон. 2017. Т. 60, № 6 (660). С. 311–325.
3. Жук С.Я., Семибаламут К.М. Двухступенчатая адаптивная компенсация активных шумовых помех с ортогонализацией сигналов части компенсационных каналов. Вестник НТУУ “КПИ”. Серия Радиотехника, радиоаппаратостроение. 2016. № 64. С. 61–74.
4. Жук С.Я., Семибаламут К.М. Определение весовых коэффициентов двухступенчатого автокомпенсатора на основе LMS-алгоритма и корреляционных характеристик помех. Вестник НТУУ “КПИ”. Серия Радиотехника, радиоаппаратостроение. 2016. № 65. С. 26–39.

Анотація

Виконано комп’ютерне імітаційне статистичне моделювання та аналіз ефективності роботи цифрових багатоступеневих адаптивних компенсаторів активних шумових перешкод на основі LMS-алгоритму.

Ключові слова: Активна шумова перешкода, багатоступеневий адаптивний компенсатор перешкод, LMS-алгоритм.

Аннотация

Выполнено компьютерное имитационное статистическое моделирование и анализ эффективности работы цифровых многоступенчатых адаптивных компенсаторов активных шумовых помех на основе LMS-алгоритма.

Ключевые слова: Активная шумовая помеха, многоступенчатый адаптивный компенсатор помех, LMS-алгоритм.

Abstract

Computer simulated statistical modeling and analysis of the efficiency of digital multistage adaptive compensators for active noise interference based of the LMS-algorithm.

Keywords: Active noise interference, multistage adaptive compensator of active noise interference, LMS-algorithm.