

УДК 621.396

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ ПРИ МНОГОКАНАЛЬНОМ ПРИЕМЕ

Винт Ту Аунг, магистрант

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Институт информационных технологий,
г. Минск, Республика Беларусь*

Дмитренко А.А. – канд. техн. наук, доцент каф. ИСиТ

Аннотация. Работа содержит математическое описание активных шумовых помех в радиолокационных станциях обзора с многоканальной цифровой антенной решеткой в виде корреляционной матричной функции.

Ключевые слова. Активные шумовые помехи, внутренний шум, антенная решетка.

Введение. Воздействие активных шумовых помех на РЛС значительно снижает ее возможности по обнаружению целей. С целью реализации эффективных адаптивных алгоритмов подавления активных шумовых помех необходимым является наличие адекватной математической модели активных шумовых помех. При разработке адаптивных алгоритмов подавления активных шумовых помех в радиолокационных станциях обзора с цифровой антенной решеткой требуется учет многоканальности при приеме и обработке входных реализаций.

Основная часть. Активная шумовая помеха (АШП) представляет собой гауссовский нормальный случайный процесс с флуктуирующей амплитудой и фазой. Ее временная структура может быть представлена в виде [1-3]:

$$h(t) = H(t)e^{j\omega_0 t} = E_{\text{ш}}(t)e^{j\varphi_{\text{ш}}(t)}e^{j\omega_0 t}, \quad (1)$$

где $H(t)$ – комплексная огибающая АШП; j – мнимая единица; ω_0 – несущая круговая частота; t – текущее время; $E_{\text{ш}}(t)$ – мгновенная амплитуда АШП; $\varphi_{\text{ш}}$ – мгновенная фаза АШП.

Комплексную огибающую АШП также можно представить в виде суммы двух квадратурных составляющих:

$$H(t) = E_{\text{ш}}(t)e^{j\varphi_{\text{ш}}(t)} = x_h(t) + jy_h(t), \quad (2)$$

где $x_h(t)$ и $y_h(t)$ – квадратурные составляющие АШП.

Одна из квадратурных составляющих АШП показана на рисунке 1.

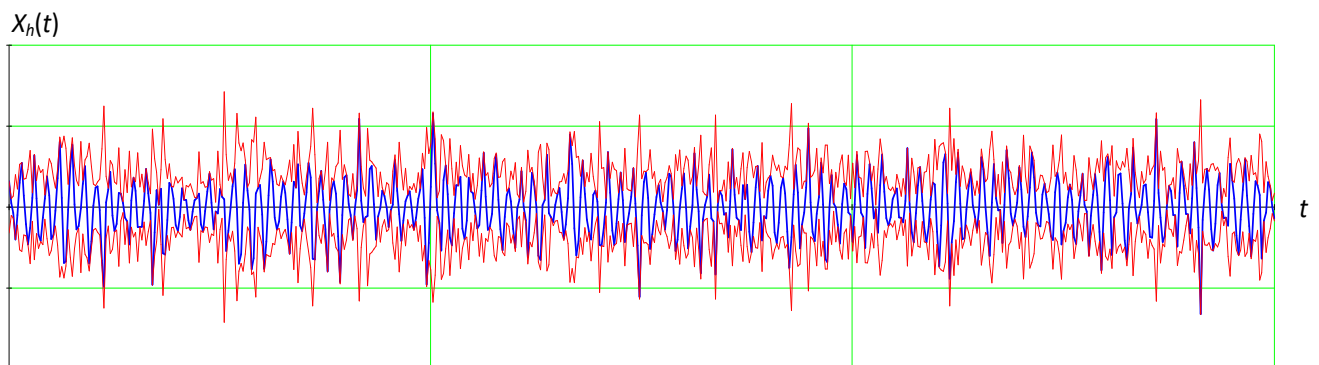


Рисунок 1 – Квадратурная составляющая активной шумовой помехи

При наличии одного источника АШП на выходах M элементов линейной эквидистантной антенной решетки будет M принятых комплексных колебаний АШП (рисунок 2):

$$h(t) = \|h_1(t) \ h_2(t) \ \dots \ h_M(t)\|^T. \quad (3)$$

Сигнал АШП в k -м канале антенной решетки может быть записан в следующем виде:

$$h_k(t) = H_k(t)e^{j\omega_0 t} e^{j\frac{2\pi}{\lambda}(k-1)d\sin(\theta_{\text{ш}})} = H_k(t)e^{j(k-1)\varphi_{\text{ш}}}e^{j\omega_0 t}, \quad (4)$$

где $H_k(t)$ – комплексная огибающая АШП в k -м канале антенной решетки; λ – длина волны несущего

колебания; d – расстояние между элементами АР; $\theta_{\text{ш}}$ – угол между волновым фронтом падения АШП и плоскостью апертуры антенной решетки; $\Pi_{\text{ш}}$ – межканальный набег фазы колебаний АШП в соседних элементах антенной решетки:

$$\varphi_{\text{ш}} = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin(\theta_{\text{ш}}). \quad (5)$$

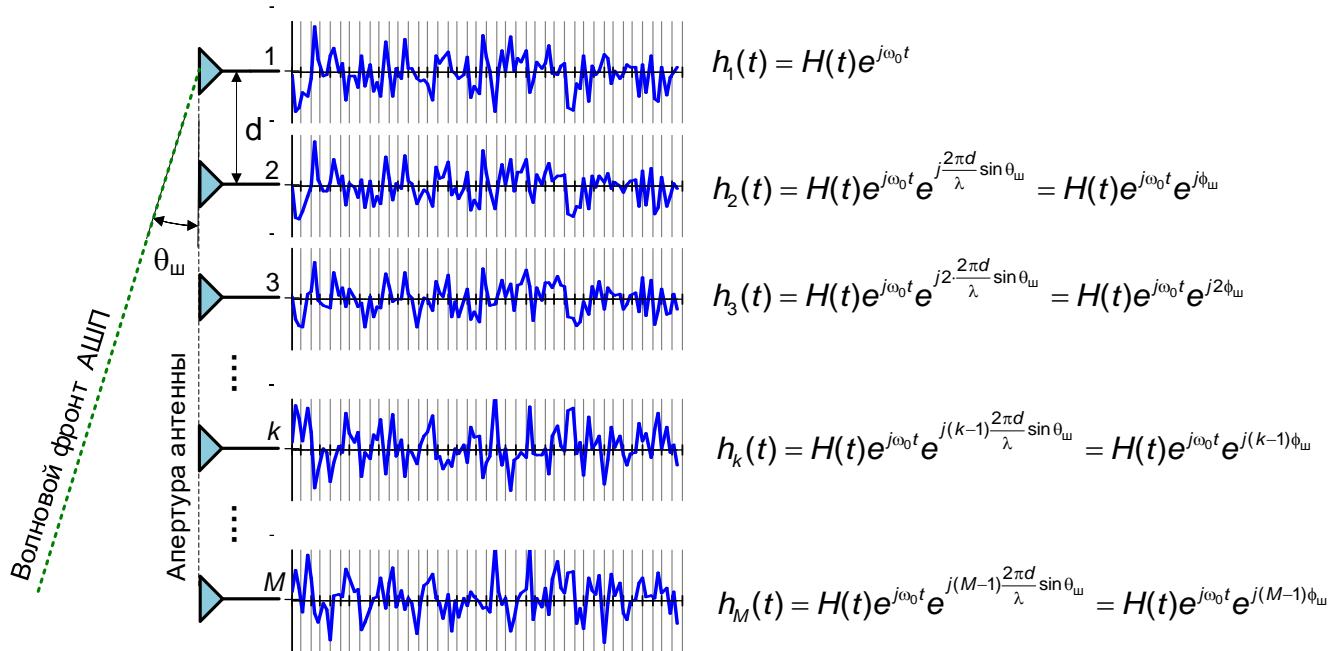


Рисунок 2 – Модель активных шумовых помех при многоканальном приеме

Если каналы антенной решетки считать идентичными, то

$$H_k(t) = H(t), \quad \forall k = \underline{1, M} \quad (6)$$

и (3) можно представить в виде:

$$h(t) = H(t)e^{j\omega_0 t} \|1 e^{j\varphi_{\text{ш}}} \dots e^{j(M-1)\varphi_{\text{ш}}}\| = H(t)e^{j\omega_0 t} \mathbf{H}(\theta_{\text{ш}}), \quad (7)$$

где $\mathbf{H}(\theta_{\text{ш}})$ – вектор множителей межканального набег фазы колебаний АШП:

$$\mathbf{H}(\theta_{\text{ш}}) = \|1 e^{j\varphi_{\text{ш}}} \dots e^{j(M-1)\varphi_{\text{ш}}}\|. \quad (8)$$

Учитывая нормальный закон распределения комплексных огибающих АШП в каналах приема антенной решетки, введем в качестве ее неслучайной характеристики $M \cdot M$ корреляционную матричную функцию:

$$R_a(t, s) = \underline{h(t)h^*(s)} \quad (9)$$

$$= \|R_{11}^a(t, s) \ R_{12}^a(t, s) \ \dots \ R_{1M}^a(t, s) \ R_{21}^a(t, s) \ R_{22}^a(t, s) \ \dots \ R_{2M}^a(t, s) \ \dots \ R_{M1}^a(t, s) \ \dots \ R_{M2}^a(t, s) \ \dots \dots \dots\|$$

Элементы корреляционной матричной функции $\mathbf{R}_a(t, s)$

$$R_{kl}^a(t, s) = \underline{h(t)h^*(s)}, \quad k, l = \underline{1, M} \quad (10)$$

являются взаимнокорреляционными функциями соответствующих шумовых процессов в приемных каналах антенной решетки k и l , взятых в моменты времени t и s .

Для стационарных во времени процессов можно считать, что

$$R_a(t, s) = R_a(t - s) = R_a(\tau), \quad (11)$$

где τ – разность моментов времени взятия отсчетов входных процессов для вычисления взаимнокорреляционной функции.

Тогда, с учетом выражения (10),

$$R_a(\tau) = 2N_a\delta(\tau)H(\theta_{ш})H^{*T}(\theta_{ш}), \quad (12)$$

где N_a – спектральная плотность мощности АШП на раскрые приемной антенной решетке; $\delta(\tau)$ – дельта функция.

В векторно-матричной алгебре операции одновременного комплексного сопряжения «*» и транспонирования «Т» обозначаются через знак «+» – знак эрмитового сопряжения.

С учетом наличия внутреннего шума в каналах антенной решетки и при условии его статистической идентичности корреляционная матричная функция примет вид:

$$\begin{aligned} R_h(\tau) &= R_0(\tau) + R_a(\tau) = 2N_0\delta(\tau)E + 2N_a\delta(\tau)H(\theta_{ш})H^+(\theta_{ш}) = \\ &= 2N_0\delta(\tau)[E + \gamma_a H(\theta_{ш})H^+(\theta_{ш})] = 2N_0\delta(\tau)R_{шп}, \end{aligned} \quad (13)$$

где N_0 – спектральная плотность мощности внутренних шумов; γ_a – отношение спектральной плотности мощности АШП к спектральной плотности мощности внутренних шумов:

$$\gamma_a = \frac{N_a}{N_0}. \quad (14)$$

В реальной ситуации на РЛС могут воздействовать J источников АШП. Практически всегда они некоррелированы между собой. Тогда корреляционная матричная функция (13) равна сумме корреляционных матричных функций помех, порождаемых каждым источником АШП:

$$R_h(\tau) = R_0(\tau) + \sum_{j=1}^J R_{a_j}(\tau) = 2N_0\delta(\tau) \left[E + \sum_{j=1}^J \gamma_{a_j} H(\theta_{ш_j})H^+(\theta_{ш_j}) \right]. \quad (15)$$

Заключение. Полученное в настоящей работе математическое описание активной шумовой помехи в РЛС обзора с многоканальной цифровой антенной решеткой в виде корреляционной матричной функции может быть использовано для разработки адаптивных алгоритмов компенсации активных шумовых помех.

Список использованных источников:

1. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория : справочник / [Я. Д. Ширман и др.] ; под ред. Я. Д. Ширмана. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Радиотехника, 2007. - 510 с.
2. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. Пер. с англ. Челпанова В. Г., Лексаченко В. А. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
3. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004 – 488 с.

UDC 621.396

MATHEMATICAL MODEL OF ACTIVE NOISE INTERFERENCE WITH MULTI-CHANNEL RECEPTION

Wint Thu Aung

Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Dmitrenko A.A. – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Annotation. The work contains a mathematical description of active noise interference in radar surveillance stations with a multichannel digital antenna array in the form of a correlation matrix function.

Keywords. Active noise interference, internal noise, antenna array.