

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ ПРИ ЛИНЕЙНОМ СКАНИРОВАНИИ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

г. Минск, Республика Беларусь

Булаш М.М.

Малевич И.Ю. – д-р техн. наук, профессор;

Шалыпин С.В. – канд. техн. наук, доцент

В [1] для метода линейного сканирования диаграммы направленности антенны описан алгоритм работы дискриминатора угломера, использующего для снижения флуктуационной ошибки второй опорный канал с несканирующей или слабонаправленной антенной. В настоящей работе рассматривается применение описанного в [1] метода для решения задачи измерения угловой координаты источника активной шумовой помехи (АШП).

Общая процедура обработки флуктуирующей последовательности импульсов осуществляется в соответствии с выражением поиска максимума функции правдоподобия [2]

$$Z(\hat{\theta}_c, \theta_c) = \xi^\dagger(\theta_c) \mathbf{Q}^{p0}(\hat{\theta}_c) \xi(\theta_c) + \alpha_{п0}(\hat{\theta}_c), \quad (1)$$

где $\xi(\theta_c) = \{\xi_0, \dots, \xi_j, \dots, \xi_N\}^T$ – отсчеты принятого сигнала, N – количество отсчетов за один обзор;

$\mathbf{Q}^{p0}(\hat{\theta}_c) = \mathbf{Q}^\Phi - \mathbf{Q}^{п+\Phi}(\hat{\theta}_c)$ – матрица обработки;

$\mathbf{Q}^\Phi = (\mathbf{R}^\Phi)^{-1}$;

\mathbf{R}^Φ – корреляционная матрица фона;

$\mathbf{Q}^{п+\Phi}(\hat{\theta}_c) = (\mathbf{R}^{п+\Phi}(\hat{\theta}_c))^{-1}$;

$\mathbf{R}^{п+\Phi}(\hat{\theta}_c) = \mathbf{R}^п(\hat{\theta}_c) + \mathbf{R}^\Phi$ – корреляционная матрица смеси помехи и фона;

$\mathbf{R}^п(\hat{\theta}_c)$ – корреляционная матрица помехи;

$\alpha_{п0}(\hat{\theta}_c) = \ln \left(\frac{\text{Det}(\mathbf{R}^\Phi)}{\text{Det}(\mathbf{R}^{п+\Phi}(\hat{\theta}_c))} \right)$, где $\text{Det}()$ – функция нахождения определителя матрицы;

$()^\dagger$ – эрмитово сопряжение;

θ_c – истинное угловое положение цели;

$\hat{\theta}_c$ – текущая оценка углового положения цели.

Запишем входной сигнал угломера $\xi(\theta)$ от двух каналов приёма как

$$\xi(\theta_c) = \{\xi_{0,0}, \xi_{1,0}, \dots, \xi_{k,0}, \xi_{k,1}, \dots, \xi_{N,0}, \xi_{N,1}\}^T, \quad (2)$$

где $\xi_{k,0}$ – k -й отсчет сигнала, принятого сканирующей антенной, $\xi_{k,1}$ – k -й отсчёт сигнала, принятого дополнительной антенной.

В сигнале ПАП соседние отсчёты не коррелированы по времени, но корреляция между каналами остаётся, в связи с этим результирующая корреляционная матрица помехи от двух каналов будет иметь следующий вид:

$$\mathbf{R}^п(\hat{\theta}_c) = \begin{bmatrix} R_{0,00}^п(\hat{\theta}_c) & R_{0,01}^п(\hat{\theta}_c) & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ R_{0,10}^п(\hat{\theta}_c) & R_{0,11}^п(\hat{\theta}_c) & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & R_{k,00}^п(\hat{\theta}_c) & R_{k,01}^п(\hat{\theta}_c) & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & R_{k,10}^п(\hat{\theta}_c) & R_{k,11}^п(\hat{\theta}_c) & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & R_{2N-1,00}^п(\hat{\theta}_c) & R_{2N-1,01}^п(\hat{\theta}_c) \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & R_{2N-1,10}^п(\hat{\theta}_c) & R_{2N-1,11}^п(\hat{\theta}_c) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где k – номер отсчёта принятого сигнала.

Обратим внимание на вид матрицы обработки. Как известно она определяется выражением $\mathbf{Q}^{p0}(\hat{\theta}_c) = \mathbf{Q}^\Phi - \mathbf{Q}^{п+\Phi}(\hat{\theta}_c)$. Однако \mathbf{Q}^Φ не зависит от положения цели и принимается постоянной в одном обзо-

ре пространства, поэтому этим членом выражения можно пренебречь и принять матрицу обработки равной обратной корреляционной матрице смеси отражённого сигнала и фона, т.е. $\mathbf{Q}^{\text{п}0}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) = \mathbf{Q}^{\text{п}+\Phi}(\hat{\theta}_{\text{ц}})$.

Функция правдоподобия принимает вид

$$Z(\hat{\theta}_{\text{ц}}) = \sum_{k=1}^N (\boldsymbol{\xi}_k^{\dagger} \mathbf{Q}_k^{\text{п}+\Phi}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) \boldsymbol{\xi}_k + \alpha_{\text{п}0,k}). \quad (3)$$

В (3) $\mathbf{Q}^{\text{п}+\Phi}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) = (\mathbf{R}^{\text{п}+\Phi}(\hat{\theta}_{\text{ц}}))^{-1}$, при этом k -ю корреляционную матрицу помеха+фон для ПАП можно записать в виде

$$\mathbf{R}_k^{\text{п}+\Phi}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) = \begin{bmatrix} R_{k,00}^{\text{п}}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) + R_{k,00}^{\Phi} & R_{k,01}^{\text{п}}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) \\ R_{k,10}^{\text{п}}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) & R_{k,11}^{\text{п}+\Phi} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $R_{k,00}^{\text{п}}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) = 2\sigma_{\text{п}0}^2 U_{0,k}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) U_{0,k}(\hat{\theta}_{\text{ц}})$, $\sigma_{\text{п}0}^2$ – мощность сигнала в канале сканирующей антенны, $U_{0,k}(\hat{\theta}_{\text{ц}})$ – k -й отсчёт множителя, определяемый формой диаграммы направленности при условии, что пик диаграммы направлен на $\hat{\theta}_{\text{ц}}$;

$R_{k,00}^{\Phi} = 2\sigma_{\text{ф}0}^2$, $\sigma_{\text{ф}0}^2$ – мощность шума в канале сканирующей антенны;

$R_{k,11}^{\text{п}+\Phi} = 2(\sigma_{\text{п}1}^2 + \sigma_{\text{с}1}^2)$, $\sigma_{\text{с}1}^2$ – мощность сигнала в канале дополнительной антенны, $\sigma_{\text{ф}1}^2$ – мощность шума в канале дополнительной антенны.

$R_{k,01}^{\text{п}}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) = 2\sigma_{\text{п}0}\sigma_{\text{п}1} U_{0,k}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) h_{0,1}$, $\sigma_{\text{п}1}$ – СКО сигнала в канале с дополнительной антенной, $h_{0,1}$ – межканальный коэффициент корреляции;

$R_{k,10}^{\text{п}}(\hat{\theta}_{\text{ц}}) = R_{k,01}^{\text{п}}(\hat{\theta}_{\text{ц}})$.

Таким образом, в отличие от алгоритма, описанного в [1], для АШП вид матрицы обработки значительно упрощается. Здесь для обработки сигнала от двух каналов определяется обратная корреляционная матрица размера 2×2 , а не $2N \times 2N$, что значительно снижает вычислительную сложность.

На рис. 1 приведены зависимости среднеквадратической ошибки (СКО) измеренного углового положения цели от времени корреляции полезного сигнала. При этом флуктуации пачки обратно пропорциональны времени корреляции сигнала. В модели полагается, что всего в секторе обзора на один канал приходится 32 отсчёта, эффективная длительность пачки 2,3 мс, отношение помеха/шум на входе угломера равно 20 дБ. Коэффициент межканальной корреляции сигналов равен $h_{0,1} = 0.95$. Все энергетические и статистические параметры полезного сигнала считаются известными.

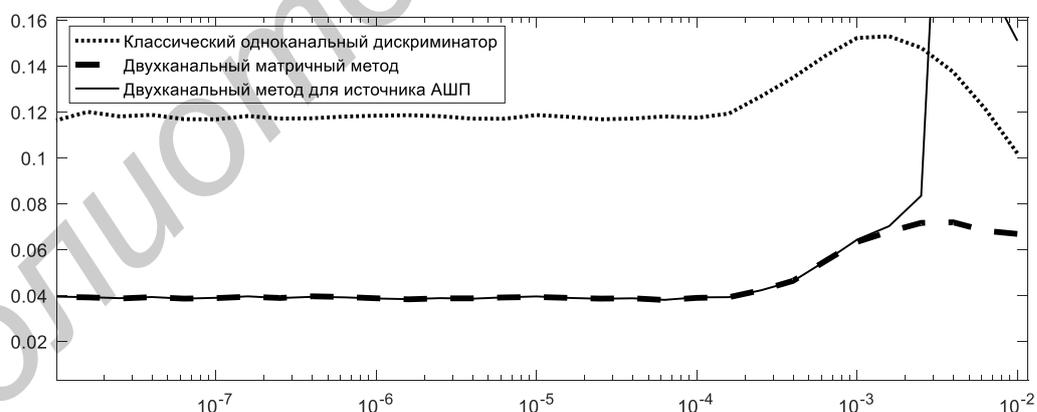


Рис. 1 – Зависимость СКО от времени корреляции сигнала

Таким образом при малом времени корреляции $\tau_k < 1$ мс полученный упрощенный метод по эффективности совпадает с двухканальным матричным методом из [1], а при времени корреляции $\tau_k > 1$ мс СКО сильно растёт и рассматриваемый угломер проигрывает даже угломеру на основе классического одноканального дискриминатора.

Список использованных источников:

1. Булаш, М.М., Синтез оптимального двухканального угломера с линейным сканированием диаграммы направленности антенны / М.М. Булаш, С.В. Шаляпин // Доклады БГУИР – 2016. – №4(98) – С. 35 – 39.
2. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба Часть 1 Основы радиолокации / А.Е. Охрименко. – Москва, 1983. – 456 с.