

КВАЗИОПТИМАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ В ОБЗОРНЫХ РЛС С МНОГОКАНАЛЬНЫМИ ПРИЕМНЫМИ СИСТЕМАМИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ву Тхань Ха

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Для различных видов отраженных сигналов обоснованы алгоритмы оценивания пеленга цели в обзорной двухкоординатной радиолокационной станции (РЛС) с подсистемой пространственной компенсации помех (ПКП). Алгоритмы основаны на операциях внутривыборочной компенсации помех с "обелением" их результатов во временной области путем деления на оценку среднеквадратического значения напряжения суммы взвешенных внутренних шумов и нескомпенсированных остатков внешних помех, вычисления ожидаемого сигнала для всех возможных положений цели в пределах области неопределенности, построение и максимизацию функции правдоподобия, вид которой определяется корреляционной функцией флуктуаций отраженного сигнала.

В настоящее время актуальными остаются вопросы обеспечения требуемой помехоустойчивости обзорных РЛС обнаружения воздушных целей в условиях мощных активных помех, воздействующих с направлений главного (ГЛ) и боковых (БЛ) лепестков диаграмм направленности (ДН) антенны РЛС. В качестве основного средства повышения помехоустойчивости в указанных условиях выступает использование подсистем адаптивной ПКП на базе многоканальных приемных систем [1, 2]. Актуальным является обоснование практической реализуемых квазиоптимальных алгоритмов оценивания угловых координат в обзорной РЛС с ПКП для типовых видов флуктуаций отраженных сигналов (ОС).

Будем рассматривать обзорную двухкоординатную РЛС при отсутствии (ОС - дружно флуктуирующий) и наличии (ОС- быстро флуктуирующий) перестройки несущей частоты и механическим вращением антенны. Антенная система РЛС состоит из основной приемопередающей антенны с коэффициентом усиления G_0 и $\ell = \overline{1, L}$ дополнительных (компенсационных) антенн с коэффициентами $G_1 \ll G_0$. С учетом механического вращения антенны и связанным с этим изменением разности фаз полезного сигнала и помех между основной и компенсационными антеннами полагаем, что ПКП реализуется в пределах каждого периода T_r повторения импульсов зондирующего сигнала. Пусть цель, находящаяся на азимуте $\alpha_{ц}$ и дальности $r_{ц}$, предварительно обнаружена и выполнена оценка время задержки τ_z и доплеровского сдвига частоты f_d отраженного от нее сигнала, который скомпенсирован. Азимутальные положения антенны РЛС в $i = \overline{1, I}$ периодах повторения составляют $\alpha_{ai} = \alpha_a^0 + (i-1)\Omega_a T_r$, где Ω_a , α_a^0 , $\Delta\alpha_{0,5}$ - угловая скорость вращения, начальное угловое положение и ширина ГЛ ДН антенны РЛС в азимутальной плоскости по уровню 0,5 от максимальной мощности, при этом $\alpha_a^0 \leq \alpha_{ц} - \Delta\alpha_{0,5}$.

Для вектор-столбцов отсчетов сигналов на выходах основной и компенсационных антенн имеем

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{y}_{сш_i} + \mathbf{y}_{\Pi_i} + \mathbf{y}_{c_i}, \quad (1)$$

где $\mathbf{y}_{сш_i}$, \mathbf{y}_{c_i} , \mathbf{y}_{Π_i} - вектор-столбцы отсчетов собственных шумов, отраженного сигнала и внешних помех.

Общая идея обработки основана на проведение ПКП в каждом периоде повторения [1]

$$\mathbf{y}_{ai}^{\&X} = \mathbf{\omega}_i^+ \mathbf{y}_i = \mathbf{\omega}_i^+ (\mathbf{y}_{сш_i} + \mathbf{y}_{\Pi_i}) + \mathbf{\omega}_i^+ \mathbf{y}_{c_i}, \quad (2)$$

где вектор весовых коэффициентов (ВВК) для i -го периода повторения

$$\mathbf{\omega}_i = \mathbf{\Phi}_i^{-1} \begin{cases} \mathbf{s}(0) - \text{для критерия максимума ОСПШ}; \\ \mathbf{e} = (1, 0, \dots, 0)^T - \text{для критерия минимума выходной мощности}; \end{cases}$$

$\mathbf{\Phi}_i$ - оценка корреляционной матрицы процессов на выходах каналов для i -го положения антенны;

$\mathbf{s}(\alpha) = (\mathbf{R}_0^{\&X}(\alpha), \mathbf{R}_1^{\&X}(\alpha), \dots, \mathbf{R}_L^{\&X}(\alpha))^T$ - вектор ДН приемных каналов, с последующим обелением помехи [2] во временной области $\mathbf{Z}_i^{\&X} = \mathbf{y}_{ai}^{\&X} / \sqrt{\hat{P}_{ш+\Pi_i}}$, где $\hat{P}_{ш+\Pi_i} = \mathbf{\omega}_i^+ \mathbf{\Phi}_i \mathbf{\omega}_i$ - оценка мощности шума и помехи на выходе системы обработки,

и согласованной фильтрацией с измененным опорным сигналом вида $\mathbf{Z}_{оп_i}^{\&X}(\alpha) = \mathbf{R}_0^{\&X}(\alpha_{ai} - \alpha) \mathbf{\omega}_i^+ \mathbf{s}(\alpha_{ai} - \alpha) / \sqrt{\hat{P}_{ш+\Pi_i}}$. Квазиоптимальность обработки (2) определяется независимостью

$\mathbf{\omega}_i$ от α . При $\mathbf{\omega}_i = \mathbf{\Phi}_i^{-1} \mathbf{s}(\alpha_{ai} - \alpha)$ получим оптимальный алгоритм с большими вычислительными затратами.

Для функции правдоподобия (ФП) при дружно флуктуирующем ОС при реализации указанного подхода получено выражение вида

$$\Psi_1(\alpha) = \mathbf{z}^+ (\mathbf{E} - (\mathbf{E} + \hat{\sigma}_c^2(\alpha) \mathbf{R}(\alpha))^{-1}) \mathbf{z} - \ln |\mathbf{E} + \hat{\sigma}_c^2(\alpha) \mathbf{R}(\alpha)|, \quad (3)$$

где $\mathbf{z} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_I)^T$; \mathbf{E} - единичная матрица; $\hat{\sigma}_c^2(\alpha) = \sum_{i=1}^{I-1} Z_i Z_{i+1}^* / \sum_{i=1}^{I-1} r^{|i-j|} Z_{оп_i}(\alpha) Z_{оп_{i+1}}^*(\alpha)$ - оценка средней мощности ОС на выходе изотропной приемной антенны при облучении цели максимумом главного лепестка ДН передающей антенны; $r = e^{-T_r/\tau_c}$, τ_c - коэффициент и интервал времени междупериодной корреляции ОС; $\mathbf{R}(\alpha)$ - нормированная корреляционная матрица отсчетов флуктуирующую полезного сигнала с учетом операции обеления с элементами

$$R_{i,j}(\alpha) = r^{|i-j|} F_0^*(\alpha_{ai} - \alpha) F_0^*(\alpha_{aj} - \alpha) \omega_i^+ \mathbf{s}(\alpha_{ai} - \alpha) \mathbf{s}^+(\alpha_{aj} - \alpha) \omega_j / \sqrt{\hat{P}_{ш+п_i} \hat{P}_{ш+п_j}}.$$

Аналогично для функции правдоподобия при быстро флуктуирующем ОС

$$\Psi_2(\alpha) = \sum_{i=1}^I \ln \frac{1}{1 + \hat{\sigma}_c^2(\alpha) |Z_{оп_i}(\alpha)|^2} + \sum_{i=1}^I \frac{\hat{\sigma}_c^2(\alpha) |Z_{оп_i}(\alpha)|^2}{1 + \hat{\sigma}_c^2(\alpha) |Z_{оп_i}(\alpha)|^2} |Z_i|^2, \quad (4)$$

где $\hat{\sigma}_c^2(\alpha) = (\sum_{i=1}^I |Z_i|^2 - I) / \sum_{i=1}^I |Z_{оп_i}(\alpha)|^2$.

Максимально правдоподобные оценки азимута цели

$$\hat{\alpha} = \arg \max_{\alpha} \Psi_{1(2)}(\alpha). \quad (5)$$

На рисунке 1, а, б приведен вид одной из реализаций ФП для случая наличия дружно (а, $\tau_c = 100$ мс) и быстро (б) флуктуирующего ОС при воздействии единственного источника помех. Отношение помеха/шум 50 дБ, сигнал/шум (по пачке) 27 дБ, $T_r = 1$ мс, $\Delta\alpha_{0,5} = 3,8^\circ$; $\Omega_a = 36^\circ/\text{с}$. Как видно из рисунка, предлагаемые алгоритмы позволяют практически полностью устранить негативное воздействие помехи, в том числе, по главному лепестку ДН, а также нивелировать влияние флуктуаций ОС.

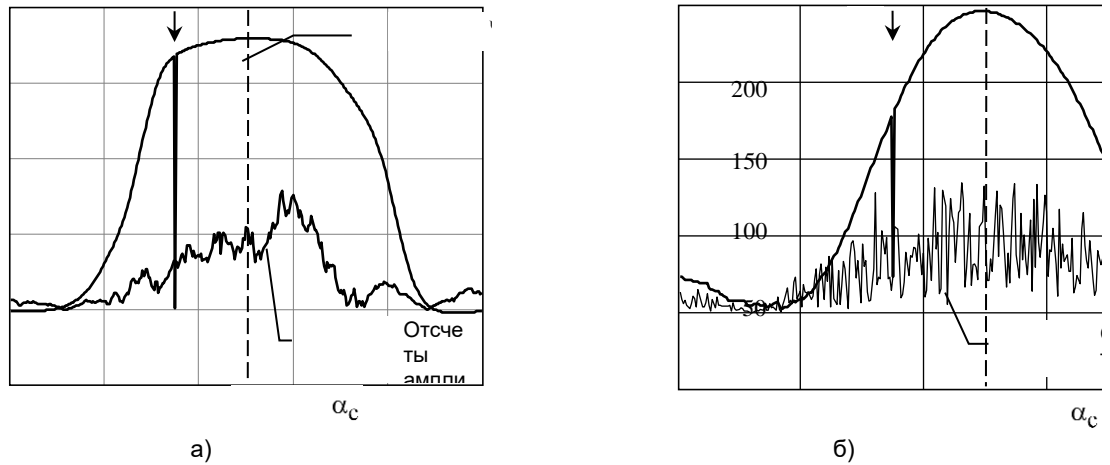


Рисунок 1- Вид ФП для случая дружно флуктуирующего сигнала (а), быстро флуктуирующего сигнала (б)

Максимумы ФП весьма близки к истинному значению азимута цели, то есть флуктуационные ошибки малы, математическое ожидание ошибки пеленгации по множеству реализаций равно нулю.

Список использованных источников

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. М.: Радио и связь, 1986. - 448 с.
2. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981. - 416 с.