

ОЦЕНИВАНИЕ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВАХ С КОНИЧЕСКИМ СКАНИРОВАНИЕМ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ АКТИВНЫХ ШУМОВЫХ ПОМЕХ

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

Мороз А.Н.

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Приведен максимально правдоподобный алгоритм обработки принимаемых сигналов в радиолокационных средствах (РЛСр) с коническим сканированием и подсистемой пространственной компенсации помех (ПКП) при обработке дружно флуктуирующей пачки сигналов.

Несмотря на развитие моноимпульсных антенных систем и цифровых антенных решеток, продолжают оставаться практически значимым использование радиолокационных средств с коническим сканированием. Это определяется относительной простотой и невысокой стоимостью указанных РЛСр. Актуальным является обеспечения требуемой помехоустойчивости РЛСр с коническим сканированием в условиях мощных активных помех, воздействующих с направлений главного и боковых лепестков ДН основной антенны. В качестве основного средства повышения помехоустойчивости в указанных условиях выступает использование подсистем адаптивной ПКП на базе многоканальных приемных систем.

Целью настоящей статьи является разработка алгоритма оценивания угловых координат в радиолокационных средствах с коническим сканированием и пространственной компенсацией активных шумовых помех.

По аналогии с [1, 2] будем рассматривать импульсную РЛСр с механическим управлением антенной системы, состоящей из основной приемопередающей антенны с коэффициентом усиления G_0 и $\ell = \overline{1, L}$ дополнительных (компенсационных) антенн с коэффициентами $G_\ell \ll G_0$. Вариантом реализации антенной системы является использование основной антенны, разбитой на прием четыре квадранта, сигналы с которых принимаются и обрабатываются самостоятельно. Круговая частота и амплитуда конического сканирования составляют Ω и $\Delta\theta \approx (0, 25 \dots 0, 5)\Delta\theta_{0,5}$, где $\Delta\theta_{0,5}$ - ширина главного лепестка ДН основной антенны по уровню 0,5 от уровня максимальной мощности.

Для вектор-столбцов $\mathbf{y}_i = (\dot{Y}_{0i}, \dot{Y}_{1i}, \dots, \dot{Y}_{Li})^T$ отсчетов сигналов на выходах основной и компенсационных антенн при приеме i -го импульса отраженного сигнала запишем

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{y}_{\text{сш}i} + \mathbf{y}_{\text{п}i} + \mathbf{y}_{\text{с}i}, \quad (1)$$

где $\mathbf{y}_{\text{сш}i} = (\dot{\xi}_{\text{ш}i,0}, \dot{\xi}_{\text{ш}i,1}, \dots, \dot{\xi}_{\text{ш}i,1})^T$ - вектор-столбцы отсчетов собственных шумов; $\dot{\xi}_{\text{ш}i,\ell}$ - отсчеты внутреннего шума ℓ -го приемного канала для i -го импульса пачки;

$$\mathbf{y}_{\text{с}i} = \dot{\xi}_{\text{с}i} \sqrt{P_c} \dot{F}_0(\alpha_{ai} - \alpha_c, \beta_{ai} - \beta_c) \mathbf{s}(\alpha_{ai} - \alpha_c, \beta_{ai} - \beta_c); \quad \mathbf{y}_{\text{п}i} = \sum_{m=1}^M \dot{\xi}_{\text{п}i,m} \sqrt{P_m} \mathbf{s}(\alpha_{ai} - \alpha_{\text{п}m}, \beta_{ai} - \beta_{\text{п}m}) \quad (2), (3)$$

- вектор-столбцы отсчетов собственных шумов, отраженного сигнала и внешних помех.

При коническом развертывании угловые координаты максимума главного лепестка $\alpha_{ai} = \alpha_{a0} + \Delta\theta \cos(\Omega(i-1)T_r)$; $\beta_{ai} = \beta_{a0} + \Delta\theta \sin(\Omega(i-1)T_r)$, где $(\alpha_{a0}, \beta_{a0})$ - азимут и угол места центра зоны сканирования. Полагаем, что предварительно выполнена оценка время задержки τ_z и доплеровского сдвига частоты f_d отраженного от цели сигнала, причем последняя величина скомпенсирована.

Максимально правдоподобные оценки азимута цели

$$(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) = \arg \max_{\alpha, \beta} \Psi(\mathbf{z} / \alpha, \beta), \quad (4)$$

где $\Psi(\mathbf{z} / \alpha, \beta)$ - логарифм функции (отношения) правдоподобия.

Для модели когерентной пачки дружно флуктуирующих отраженных сигналов с коэффициентом междупериодной корреляции отсчетов r с использованием [1] отношение правдоподобия приводится к виду

$$\Psi_{1,2}(\mathbf{z} / \alpha, \beta) = \mathbf{z}^+ (\mathbf{E} - (\mathbf{E} + \hat{\sigma}_c^2(\alpha, \beta) \mathbf{R}(\alpha, \beta))^{-1} \mathbf{z} - \ln |\mathbf{E} + \hat{\sigma}_c^2(\alpha, \beta) \mathbf{R}(\alpha, \beta)|, \quad (5)$$

где $\mathbf{z} = (\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dots, \dot{Z}_I)^T$ - вектор-столбец, составленный из отсчетов $\dot{Z}_i = \mathbf{\omega}_i^+ \mathbf{y}_i / \sqrt{\mathbf{\omega}_i^+ \hat{\Phi}_i \mathbf{\omega}_i}$ «обеленной» принимаемой реализации; $\mathbf{\omega}_i$ - вектор весовых коэффициентов приемных каналов для i -го импульса пачки; $\hat{\Phi}_i$ - оценка корреляционной матрицы процессов на выходах приемных каналов для i -го импульса пачки;

$\hat{\sigma}_c^2(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^{I-1} \dot{Z}_i \dot{Z}_{i+1}^* / \sum_{i=1}^{I-1} r \dot{Z}_{\text{оп}i}(\alpha, \beta) \dot{Z}_{\text{оп}i+1}^*(\alpha, \beta)$ - оценка средней мощности принимаемого когерентного дружно флуктуирующего ОС на выходе изотропной приемной антенны, когда цель облучается максимумом

главного лепестка ДН передающей антенны; $\dot{Z}_{оп_i}(\alpha, \beta) = \dot{F}_0(\alpha_{ai} - \alpha, \beta_{ai} - \beta) \omega_i^+ s(\alpha_{ai} - \alpha, \beta_{ai} - \beta) / \sqrt{\omega_i^+ \hat{\Phi}_i \omega_i}$; $\dot{F}_\ell(\alpha, \beta)$ - ДН ℓ -го приемного канала (0 – основной канал); $s(\alpha, \beta)$ - вектор ДН приемных каналов; $\mathbf{R}(\alpha, \beta)$ - нормированная корреляционная матрица отсчетов флуктуирующую полезного сигнала с учетом операции обеления с элементами $\dot{R}_{i,j}(\alpha, \beta) = r^{|i-j|} \dot{Z}_{оп_i}(\alpha, \beta) \dot{Z}_{оп_j}^*(\alpha, \beta)$.

Отметим, что при скрытом коническом сканировании во всех выражениях необходимо заменить диаграмму направленности на передачу $\dot{F}_0(\alpha_{ai} - \alpha, \beta_{ai} - \beta)$, зависящую от номера импульса на фиксированное значение $\dot{F}_0(\alpha_{a0} - \alpha, \beta_{a0} - \beta)$. Это приведет к некоторому снижению пеленгационной чувствительности и увеличению ошибок оценивания координат.

Иллюстрация работоспособности и особенностей процессов измерения угловых координат цели в РЛС с коническим сканированием для одной из реализаций приведена на рис. 1.

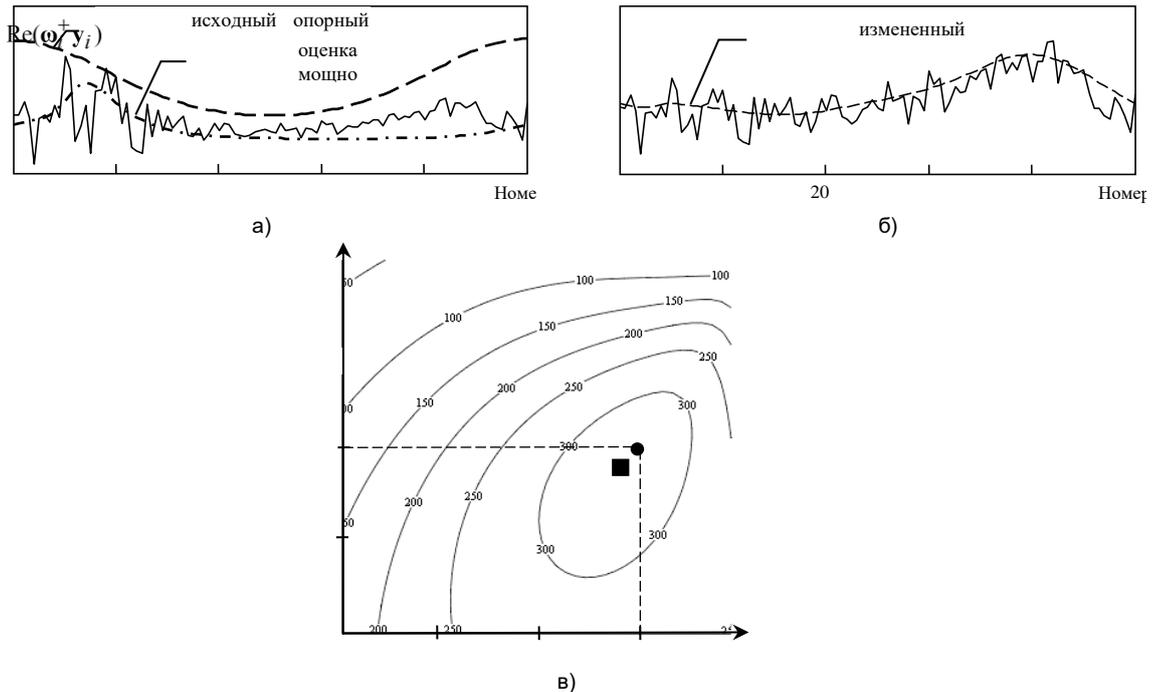


Рис. 1. Реализации сигналов после пространственного (а), временного (б) отбеливания и рельеф функции правдоподобия (в)

Как видно из рис. 1, после пространственной компенсации помех принимаемая реализация сильно искажена, в основном, взвешенными шумами при практически полной компенсации внешней помехи. При этом определение углового положения цели путем корреляции с исходным опорным сигналом приводит к большим ошибкам. После операции обеления помехи в временной области принимаемая реализация хорошо совпадает с измененным опорным сигналом. Положение оценки (заштрихованный квадрат на рис. 1в) примерно соответствует истинному значению (треугольник).

Разработанный алгоритм может быть использован при обосновании требований и исследованию эффективности помехоустойчивых радиолокационных средств с открытым и скрытым коническим сканированием.

Список использованных источников:

1. Ву Тхань Ха, Козлов С.В. Алгоритмы оценивания угловых координат в обзорных РЛС с многоканальными приемными системами / Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции (г. Воронеж, 16–18 апреля 2019 г.): в 6 т. / Воронежский государственный университет ; АО «Концерн «Созвездие». – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019. С. 102 – 115.
2. Ву Тхань Ха, Козлов С.В. Статистические характеристики обнаружения и оценивания угловых координат целей в обзорных РЛС с многоканальными приемными системами / Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции (г. Воронеж, 16–18 апреля 2019 г.): в 6 т. / Воронежский государственный университет ; АО «Концерн «Созвездие». – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019. С. 345 – 355.