

УДК 621.396

## КРИТЕРИЙ ОКОНЧАНИЯ ПРОЦЕССА УТОЧНЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ НА ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ ИЗВЕСТНОЙ ФОРМЫ

К. т. н. О. Н. Галчѐнков

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

o.n.galchenkov@gmail.com

*Для итерационного алгоритма оценивания направлений на источники сигналов известной формы предложен критерий остановки итераций при достижении максимально возможной точности оценивания. Приведены результаты численного моделирования для двух источников с сигналами одинаковой формы.*

*Ключевые слова: антенная решетка, пеленгационная характеристика, собственные числа оценки корреляционной матрицы.*

Оценивание направлений на источники сигналов известной формы с помощью антенной решетки датчиков во многих практических приложениях происходит в условиях многолучевого пространства сигналов. Улучшение разрешающих свойств и увеличение точности оценивания направлений алгоритма обработки сигналов антенной решетки является исключительно актуальной задачей. Например, в геофизической разведке это позволяет более точно определить границы слоев зондируемой среды и, в конечном итоге, обнаружить наличие полезных ископаемых.

В [1] предложен новый метод построения пеленгационной характеристики антенной решетки, показавший существенное увеличение точности по сравнению с классическими методами. Однако при сближении направлений на источники и сильном перекрытии сигналов по времени на датчиках антенной решетки точность получаемых оценок направлений уменьшается. В [2] предложена модификация этого метода, позволяющая улучшить характеристики этого алгоритма в случае близко расположенных по направлению источников сигналов. Идея модификации заключается в итерационном уточнении направления на источники за счет построения оценок сигналов от отдельных источников и сведения помеховой ситуации к квазиодносигнальной. С точки зрения ограничения объема вычислений важной является задача ограничения количества итераций. Целью настоящей работы является разработка критерия, позволяющего идентифицировать момент, когда уточнения уже не происходит, и остановить итерации.

Обработка сигналов антенной решетки [1] заключается в том, что данные с  $N$  датчиков антенной решетки выравниваются по времени для каждого направления  $\varphi$ . По ним строится одноранговая оценка корреляционной матрицы сигнала, которая используется для нахождения экстремума пеленгационной характеристики по направлению  $\varphi$  путем сканирования по времени алгоритмом, использующим известную форму искомого сигнала.

Одноранговая оценка корреляционной матрицы разностного сигнала для направления  $\varphi$  и сдвиги формы сигнала  $l$

$$R_{j,l}^{\varphi}(n) = (E_{j,l}^{\varphi}(n)) \cdot (E_{j,l}^{\varphi}(n))^T + I_{\delta},$$

где  $E_{j,l}^{\varphi}(n)$  — разностный вектор входных сигналов для направления  $\varphi$  и известной формы сигнала от  $j$ -го источника,  $E_{j,l}^{\varphi}(n) = E_p^{\varphi}(n) / e_{\max}^{\varphi} - S_{j,l}^{\varphi}$ ;  $e_{\max}^{\varphi}$  — максимальный элемент в усредненном векторе входных сигналов для направления  $\varphi$   $E_p^{\varphi}(n)$ ;  $S_{j,l}^{\varphi} = (s_{1,j}^{\varphi}, s_{2,j}^{\varphi}, \dots, s_{L2,j}^{\varphi})^T$  — вектор отсчетов нормированной формы сигнала от  $j$ -го источника, сдвинутых на  $l$  позиций ( $l=0, \dots$ ).

Пеленгационная характеристика находится как

$$\Phi_{j,l}^{\varphi}(n) = 1 / (\lambda_{\max}(R_{j,l}^{\varphi}(n)) - \delta),$$

где  $\lambda_{\max}(R_{j,l}^{\varphi}(n))$  — максимальное собственное число матрицы  $R_{j,l}^{\varphi}(n)$ .

Экстремум сечения пеленгационной характеристики:

$$F_p(\varphi) = \max_{\tau} \{ \Phi_p^{\varphi}(\tau) \},$$

где  $\Phi_p^{\varphi}(\tau)$  — значение пеленгационной характеристики для задержки  $\tau$ , угла  $\varphi$  и  $p$ -й формы сканирующего сигнала.

Направление на источник, излучающий сигнал  $p$ -й формы:

$$\varphi_p = \arg \{ \max_{\varphi} F_p(\varphi) \}.$$

Время прихода импульса  $p$ -й формы:

$$\tau_p = \arg \{ \max_{\tau} \Phi_p^{\varphi_p}(\tau) \}.$$

В качестве критерия, указывающего на то, что процесс уточнения происходит успешно, предлагается использовать уменьшение отношения минимума и максимума пеленгационной характеристики для каждого из сигналов:

$$A(g) = \min_{\varphi} \{ F^{\varphi}(g) \} / \max_{\varphi} \{ F^{\varphi}(g) \},$$

где  $g$  — номер итерации.

Как только процесс уменьшения прекратился, то итерации можно прекратить.

Численное моделирование показало эффективность предложенного критерия для ограничения объема вычислений. В частности, для линейной эквидистантной решетки с количеством датчиков  $N=25$  в сложной помеховой ситуации, когда угловое расстояние между источниками составляло 5 градусов, отношение сигнал/шум на датчиках было  $-4$ дБ, потенциально-возможное уменьшение среднего значения модуля ошибки оценивания направления в 50 раз, критерий показал, что можно ограничиться 8 итерациями, после которых и было достигнуто потенциально-возможное уменьшение среднего значения модуля ошибки.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Галчѐнков О. Н. Метод оценивания направлений прихода сигналов известной формы // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника.— 2013.— Т. 56, № 12.— С. 47–50.
2. Галчѐнков О. Н. Увеличение точности оценивания направлений и времени прихода сигналов известной формы в многосигнальной ситуации // Труды XIII МНПК «Современные информационные и электронные технологии» (СИЭТ-2012).— Украина, г. Одесса, 2012.— С. 142.

---

Galchonkov O. N.

#### **Stopping criterion for the refinement process of sources directions with a known form of signal.**

For the iterative algorithm for estimation of the direction to the source of the signal of a known form, the authors introduce a criterion of iteration stop upon the achievement of the maximum possible estimation accuracy. The results of numerical simulations for two sources with the signals of the same shape are given.

Keywords: *antenna array, DF characteristic, eigenvalues of the correlation matrix estimation.*

---