

## АЛГОРИТМ КОГЕРЕНТНО-НЕКОГЕРЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСА ПОМЕХ

К. т. н. И. В. Цевух, Д. О. Синяков

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

itsevukh@gmail.com, sinyakov.d@outlook.com

*Предложен упрощенный с точки зрения вычислительной сложности алгоритм когерентно-некогерентной обработки радиосигнала в условиях произвольного комплекса разнородных помех. Даны рекомендации по его практическому применению при обнаружении полезного сигнала на фоне аддитивной смеси импульсной, коррелированной и некоррелированной гауссовых помех.*

*Ключевые слова:* когерентно-некогерентной обработка, радиосигнал, аддитивная смесь помех.

Одним из требований, предъявляемых к существующим и проектируемым многофункциональным системам передачи и извлечения информации, является высокая помехозащищенность в условиях комплекса мешающих воздействий, включающего импульсную, коррелированную и некоррелированную помехи [1]. Сложность реализации аддитивного оптимального по критерию максимума отношения правдоподобия [2] обнаружителя полезного сигнала с непрерывной перестройкой параметров в зависимости от помеховой обстановки приводит к необходимости поиска упрощенных вариантов его построения.

Для ряда практических приложений допустимым оказывается использование вместо оптимальной системы обработки упрощенного, одноканального по доплеровской частоте сигнала, обнаружителя [3]

$$C^2 = X^* B_{\Pi}^{-2} X > C_0, \quad (1)$$

где  $X$  —  $N$ -мерный вектор выборочных отсчетов входного процесса;  $B_{\Pi}$  — ковариационная матрица помехи;  $*$  — знак комплексного сопряжения и транспонирования;  $C_0$  — пороговое значение.

Статистика  $C^2$  получена в [3] из отношения правдоподобия при допущении, что уровень полезного сигнала мал по сравнению с уровнем коррелированных помех, а разрешающая способность по доплеровской фазе сигнала игнорируется. Тем не менее, построение систем обработки на базе (1) при обнаружении больших пачек когерентных радиоимпульсов в условиях комплекса помех затруднено из-за необходимости измерения и преобразования ковариационной матрицы помехи, что требует значительного числа вычислений.

Цель данной работы — использовать априорную информацию о разнородности мешающих воздействий для разработки упрощенной с точки зрения вычислительной сложности одноканальной процедуры обнаружения полезного сигнала с поочередной компенсацией помех, входящих в комплекс.

Для этого сначала синтезируем алгоритм обнаружения сигнала с последовательной компенсацией произвольного числа  $m$  помех  $Y_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , с ковариационными матрицами  $B_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ .

Ковариационную матрицу аддитивной смеси  $k$  помех  $G_k = \sum_{j=1}^k B_j$ ,  $k = \overline{1, m-1}$ ;  $m > 1$  и достаточную статистику (1) представим в виде

$$B_{\Pi} = B_1 \prod_{k=1}^{m-1} (G_k^{-1} B_{k+1} + I); \quad (2)$$

$$C^2 = |X^* \left[ \prod_{k=1}^{m-1} (G_k^{-1} B_{k+1} + I) \right]^{-1} B_1^{-1}|^2. \quad (3)$$

Проведенные исследования показали, что каждое из преобразований  $(G_k^{-1} B_{k+1} + I)^{-1}$  в (3) осуществляет наилучшее по критерию минимума среднего квадрата ошибки (СКО) подавление помехи  $Y_{k+1}$  на фоне  $k$  нескомпенсированных помех.

---

Одесса, 27—31 мая 2019 г.

Алгоритм (3) позволяет конкретизировать обработку сигналов на фоне аддитивной смеси импульсных, коррелированных и некоррелированных помех с ковариационными матрицами, соответственно,  $B_u = \text{diag}\{\sigma_{u1}^2, \sigma_{u2}^2, \dots, \sigma_{uN}^2\}$ ,  $B_k = \sigma_k^2 R_k$ ,  $B_h = \sigma_h^2 I$ , где  $\sigma_{uj}^2, j = \overline{1, N}$ ;  $\sigma_k^2, \sigma_h^2$  — мощности помех,  $R_k$  — корреляционная матрица коррелированной помехи.

Статистика (3) в этом случае может быть представлена в виде

$$C^2 = |X^*[(B_k + B_h)^{-1} B_u + I]^{-1} [B_h^{-1} B_k + I]^{-1} B_h^{-1}|^2. \quad (4)$$

Исследуем процедуру подавления импульсной помехи на фоне смеси коррелированной и некоррелированной помех, реализуемую матрицей  $T = [(B_k + B_h)^{-1} B_u + I]^{-1}$ . Пусть  $i$ -й элемент вектора  $X$  содержит импульсную помеху. Тогда элементы матрицы  $T$  с точностью до постоянного множителя определяются выражением

$$t_{ji} = \begin{cases} -r_{jv}^{(-1)} [r_{vv}^{(-1)} + \beta_v^{-1} |R_{kh}|]^{-1}, & i = v, \forall j \neq v; \\ [1 + r_{vv}^{(-1)} \beta_v |R_{kh}|]^{-1}, & j = i = v; \\ 1, & j = i \neq v; \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (5)$$

где  $r_{jv}^{(-1)}$  — элемент матрицы  $R_{kh}^{-1} = [(B_h + B_k)/\sigma_k^2 + \sigma_h^2]^{-1}$ ;  $\beta_v = \sigma_{uv}^2/\sigma_k^2 + \sigma_h^2$ , а вектор процесса на выходе компенсатора импульсной помехи имеет вид

$$Z^* = X^* T = \left[ x_1^*, \dots, x_{v-1}^*, \sum_{j=1}^N x_j^* t_{jv}, x_{v+1}^*, \dots, x_N^* \right]. \quad (6)$$

Из (5) и (6) следует, что оптимальный по СКО компенсатор импульсной помехи осуществляет замену элемента выборки входного процесса, пораженного импульсной помехой, взвешенной суммой значений  $x_j^*$ , не содержащих этой помехи.

Дальнейшие преобразования решающей статистики, предписываемые (4), сводятся к последовательно проводимым операциям оптимального по СКО режектирования коррелированной помехи и когерентно-некогерентного накопления.

Таким образом, разработанный алгоритм одноканального по доплеровской частоте обнаружения сигнала в условиях комплекса разнородных помех с их поочередной компенсацией обобщает известные правила обработки, полученные эвристически или синтезированные для весьма ограниченного ( $m \leq 2$ ) ансамбля помех.

В заключение отметим, что на основе предложенного подхода можно также разрабатывать упрощенные [4], с точки зрения практической реализации, алгоритмы с сокращенной размерностью подавителей помех.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Merrill I. Skolnik radar handbook. Vol. 1.— The McGraw-Hill Companies, 2008.
2. Levy B.C. Principles of signal detection and parameter estimation.— N.-Y.: Springer, 2008.
3. Цевух И.В. Алгоритм обработки гауссовых сигналов условиях гауссовых помех // Радиоэлектроника.— 1988.— № 12.— С. 53—54
4. Цевух И.В., Соколов А.В., Сакович А.А. Параметричний синтез дискретно-адаптивної одноканальної з доплеровської частоти системи обробки сигналу в умовах гауссовых завад // Інформатика та математичні методи в моделюванні.— 2017.— Т. 7, № 4.— С. 291—299.

I. V. Tsevukh, D. O. Sinyakov

#### The radiosignal coherent / noncoherent processing algorithm under conditions of complex noise

*The paper presents a radiosignal coherent / noncoherent processing algorithm with a simplified computational complexity under conditions of complex noise. The authors propose recommendations for the practical application of the algorithm in the conditions of an additive mixture of pulse, correlated and uncorrelated gaussian noises.*

Keywords: *coherent / noncoherent processing, radio signal, additive interference mixture.*