

## ДИСКРЕТНО-АДАПТИВНЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ГАУССОВЫХ ПОМЕХ

К. т. н. И. В. Цевух, А. А. Сакович

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

itsevukh@gmail.com, anastasia9247ost@gmail.com

*Предложена методика минимизации числа режимов и оптимизации параметров дискретно-адаптивной системы обработки сигнала на фоне гауссовых помех при дополнительном ограничении величины потерь эффективности по сравнению с системами с непрерывной перестройкой параметров. Приведены результаты синтеза одноканального дискретно-адаптивного обнаружителя сигнала в условиях аддитивной смеси коррелированной и некоррелированной гауссовых помех.*

*Ключевые слова: дискретно-адаптивная система, обработка сигнала, гауссовы помехи, отношение правдоподобия, достаточная статистика, ковариационная матрица.*

Сложность реализации адаптивного оптимального по критерию максимума отношения правдоподобия обнаружителя полезного сигнала с непрерывной перестройкой параметров в зависимости от помеховой обстановки приводит к поиску упрощенных вариантов его построения. Для ряда практических приложений допустимым оказывается использование упрощенного, одноканального по доплеровской частоте, сигнала обнаружителя вместо оптимальной системы обработки.

В [1, 2] для решения задачи обнаружения импульсного сигнала на фоне гауссовых помех с неизвестными корреляционными свойствами предложено использовать, соответственно, достаточные статистики

$$T^2 = X^* \hat{B}_{\Pi}^{-1} X; \quad (1)$$

$$C^2 = X^* \hat{B}_{\Pi}^{-2} X, \quad (2)$$

где  $X$  —  $N$ -мерный вектор выборочных отсчетов входного процесса;  $\hat{B}_{\Pi}$  — оценка максимального правдоподобия ковариационной матрицы помехи; \* — знак комплексного сопряжения и транспонирования.

В [2] показано, что эффективность алгоритма, использующего статистику  $C^2$ , по вероятностным показателям для гауссовых моделей сигнала и помех оказывается несколько выше алгоритма, использующего статистику Хотеллинга  $N^2$ . Тем не менее, построение систем обработки на базе уравнений (1) и (2) затруднено из-за необходимости измерения и преобразования ковариационной матрицы помехи, что требует большого числа вычислений, а для уравнения (2) — еще и дополнительного, по сравнению с (1), умножения на оценку обратной ковариационной матрицы помехи.

Для снижения вычислительной сложности в настоящее время широко применяются экономичные методы построения обнаружителей на решетчатых структурах [3], позволяющие перейти от оценивания параметров ковариационной матрицы к использованию значений вектора авторегрессии или коэффициентов отражения решетчатой структуры.

Еще одним путем уменьшения вычислительной сложности является использование адаптивной системы, состоящей из совокупности неадаптивных подсистем (режимов), автоматически переключающихся в зависимости от результатов анализа помеховой обстановки, т. е. дискретно-адаптивной системы (ДАС).

Целью данной работы является разработка методики минимизации числа и оптимизации параметров режимов помехозащиты дискретно-адаптивной системы при ограничении на величину потерь в эффективности по сравнению с системами с непрерывной перестройкой параметров (СНП).

При допустимости гауссовой аппроксимации плотности распределения вероятностей аддитивной смеси действующих на входе приемника помех, любую из возможных помеховых ситуаций, принадлежащих некоторой области  $\theta$ , можно полностью характеризовать значением элементов ковариаци-

ционной матрицы  $B_{\Pi} \in B(\theta)$ . Основная идея перехода от систем обработки с непрерывной перестройкой параметров к системам с дискретной перестройкой заключается в разбиении непрерывной области  $\theta$  на минимально возможное число  $\overset{\circ}{M}$  неперекрывающихся подобластей, в каждой из которых потеря эффективности ДАС относительно СНП не превышает заданной величины  $C_0$  (1-й этап):

$$M \rightarrow \min_{B_{\Pi} \in B(\theta)} = \overset{\circ}{M} \text{ при ограничении } C(B_{\Pi}, W_{gi}) \leq C_0, \text{ если } B_{\Pi} \in B(\theta_i),$$

где  $i=1, \dots, \overset{\circ}{M}$ ;  $C(B_{\Pi}, W_{gi})$  — функционал потерь, вид которого определяется выбранным критерием оптимальности системы обработки;  $B(\theta_i)$  — совокупность всех возможных ковариационных матриц помехи подобласти  $\theta_i$ ;  $W_{gi}$  — вектор параметров систем обработки, определяемый ковариационной матрицей  $B_{gi}$ .

При этом координаты «центров» (определяющие параметры режимов ДАС) и границы под-областей  $\theta_i$ ,  $i=1, \dots, \overset{\circ}{M}$ , должны выбираться так, чтобы доставлять минимум средним по области  $\theta$  потерям (2-й этап):

$$\int_{B(\theta)} C'(B_{\Pi}, W_{ig}) dB_{\Pi} \rightarrow \min_{B_{\Pi} \in B(\theta)}$$

при условии, что

$$C'(B_{\Pi}, W_{ig}) = \min_{j=1, \dots, \overset{\circ}{M}} C(B_{\Pi}, W_{jg}).$$

С учетом этого, правило выбора вектора параметров ДАС может быть записано в виде равенства

$$W_{ig} = V_g H_i,$$

где  $H_i = [h_1 = 0; \dots; h_{i-1} = 0; h_i = 1; h_{i+1} = 0; \dots; h_{\overset{\circ}{M}} = 0]$ , если  $B_{\Pi} \in B(\theta_i)$ ;

$V_g$  — матрица, состоящая из  $\overset{\circ}{M}$  векторов параметров ДАС.

В столь общей постановке задача синтеза ДАС является *NP*-полной. В связи с этим, для ее решения разработан приближенный алгоритм с использованием теоретико-графовой модели. С его помощью проведен синтез одноканальной по доплеровской частоте сигнала дискретно-адаптивной системы, в которой для сокращения числа режимов был сохранен непрерывный характер адаптации к аргументу корреляционной функции помехи. Установлено, что для заданных ограничений на максимальные потери синтезированные в соответствии с разработанной методикой ДАС позволяют при сравнительно небольшом числе режимов помехозащиты (не более семи для  $C_0 \geq 3$  дБ,  $N \geq 3$ ) и в предположении безошибочной классификации помеховой обстановки обеспечить незначительные (менее 1 дБ для  $C_0 \geq 3$  дБ,  $N \geq 3$ ) средние относительно систем с непрерывной перестройкой параметров потери эффективности обработки сигналов на фоне аддитивной смеси некоррелированной и унимодальной коррелированной помех.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бартечев В.Г., Шлома А.М. О построении адаптивного обнаружителя импульсных сигналов на фоне нормальных помех с неизвестными корреляционными свойствами // Радиоэлектроника. — 1978. — № 2. — С. 3—8.
2. Цевух И.В. Алгоритм обработки гауссовых сигналов условиях гауссовых помех // Радиоэлектроника. — 1988. — № 12. — С. 53—54.
3. Фридландер Б. Решетчатые фильтры для адаптивной обработки данных // ТИИЭР. — 1982. — Т. 70, № 8. — С. 54—94

I. V. Tsevukh, A. A. Sakovich

#### Discrete-adaptive detector for Gaussian signal in Gaussian noises

*The authors propose a technique for minimizing the number of regimes and optimizing the parameters of a discrete-adaptive signal processing system in conditions of Gaussian noise with an additional restriction on the magnitude of efficiency losses compared to systems with continuous parameters variation. Results of the synthesis of a single-channel discrete-adaptive detector for Gaussian signal in the conditions of an additive mixture of correlated and uncorrelated Gaussian noise are presented.*

*Keywords: discrete-adaptive system, signal processing, Gaussian noise, likelihood ratio, sufficient statistics, covariance matrix.*