

ДИСКРЕТНО-АДАПТИВНЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСА ПОМЕХ

К. т. н. И. В. Цевух, И. С. Семенчук

Одесский национальный политехнический университет

Украина, Одесса

itsevukh@gmail.com, sis97@ukr.net

Предложен упрощенный, с точки зрения вычислительной сложности, дискретно-адаптивный алгоритм обработки радиосигнала в условиях ограниченного комплекса разнородных помех. Приведена структурная схема одноканального по доплеровской частоте дискретно-адаптивного обнаружителя сигнала в условиях аддитивной смеси импульсной, коррелированной и некоррелированной гауссовых помех.

Ключевые слова: радиосигнал, комплекс помех, дискретно-адаптивный алгоритм.

Сложность реализации адаптивного обнаружителя полезного сигнала, оптимального по критерию максимума отношения правдоподобия, в системах передачи и извлечения информации (СПИИ) с непрерывной перестройкой параметров (СНП) в зависимости от помеховой обстановки приводит к поиску упрощенных вариантов его построения [1]. Одним из подходов к решению этой проблемы является использование квазиадаптивной системы обработки, состоящей из совокупности неадаптивных подсистем (режимов), переключающихся в зависимости от результатов анализа помеховой обстановки, т. е. дискретно-адаптивной системы (ДАС), в которой выбор рабочего канала осуществляется специальным устройством — анализатором (классификатором, идентификатором) помеховой обстановки.

Для произвольного вида возможной помеховой обстановки на входе приемника и при разумном ограничении величины потерь эффективности ДАС по сравнению с СНП построение такой квазиадаптивной системы затруднительно из-за большого числа режимов помехозащиты, а также сложности и неэффективности алгоритмов распознавания классов помех. Однако для ряда СПИИ, функционирующих в условиях ограниченного комплекса мешающих воздействий, включающего, например, импульсную, коррелированную и некоррелированную помехи, оказывается возможным учесть разнородность типов помех для разработки ДАС.

Целью данной работы является построение упрощенного, с точки зрения вычислительной сложности, дискретно-адаптивного обнаружителя полезного сигнала в условиях заданного комплекса помех с учетом априорной информации о спектрально-корреляционных характеристиках и разнородности мешающих воздействий.

При допустимости гауссовых моделей сигнала и помех тест отношения правдоподобия требует вычисления достаточной статистики вида [2]

$$l = X^* Q X, \quad (1)$$

где X — N -мерный вектор выборочных отсчетов входного процесса; Q — матрица обработки, зависящая от выбранного критерия эффективности; $*$ — знак комплексного сопряжения и транспонирования.

Для ряда практических приложений в [3] предложено использовать одноканальный по доплеровской частоте сигнала обнаружитель, реализующий статистику

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

где B_{Π} — ковариационная матрица помехи.

С учетом априорной информации о разнородности мешающих воздействий одноканальная процедура обнаружения (2) полезного сигнала с поочередной компенсацией входящих в комплекс импульсной, коррелированной и некоррелированной помех с ковариационными матрицами, соответ-

ственно, $B_{и} = \text{diag}\{\sigma_{и1}^2, \sigma_{и2}^2, \dots, \sigma_{иN}^2\}$, $B_{к} = \sigma_{к}^2 R_{к}$, $B_{н} = \sigma_{н}^2 I$, где $\sigma_{иj}^2, j = \overline{1, N}$; $\sigma_{к}^2, \sigma_{н}^2$ — мощности помех, а $R_{к}$ — корреляционная матрица коррелированной помехи; будет иметь вид [4]

$$C^2 = |X^*[(B_{к} + B_{и})^{-1}B_{и} + I]^{-1}[B_{н}^{-1}B_{к} + I]^{-1}B_{н}^{-1}|^2. \quad (3)$$

Преобразования решающей статистики, предписываемые (3), сводятся к последовательно проводимым операциям компенсации импульсной помехи, оптимальной по критерию минимума среднего квадрата ошибки, подавления коррелированной помехи и некогерентного накопления.

После обнаружения и компенсации по (3) импульсной помехи для дальнейшей обработки сигнала на фоне коррелированной помехи используем переход от процедуры с непрерывной перестройкой параметров к процедуре с дискретной перестройкой. В нашем случае этот переход заключается в разбиении непрерывной области θ возможных помеховых ситуаций на минимально возможное число M неперекрывающихся подобластей («классов помех») $\theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_M = \theta$; $\theta_i \cap \theta_j = \emptyset$, в каждой из которых потеря в эффективности ДАС относительно СНП не превышает заданной величины P_0 [5]:

$$M \rightarrow \min_{B_{\Pi} \in B(\theta)} = M;$$

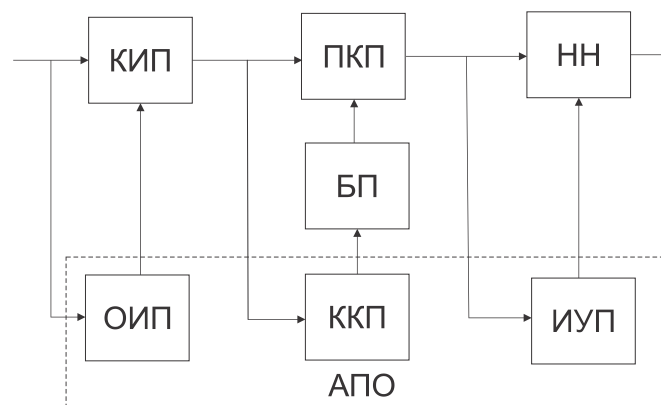
при ограничении $P(B_{\Pi}, W_{gi}) \leq P_0$;

$$i = k, \text{ если } B_{\Pi} \in B(\theta_k),$$

где $P(B_{\Pi}, W_{gi})$ — функционал потерь, вид которого определяется выбранным критерием оптимальности системы обработки G ; $B(\theta_k)$ — совокупность всех возможных ковариационных матриц помехи подобласти θ_k ; W_{gi} — вектор параметров систем обработки, определяемый ковариационной матрицей B_i .

Структурная схема дискретно-адаптивной системы обработки полезного сигнала на фоне аддитивной смеси импульсных, коррелированных и некоррелированных помех, функционирующая под управлением анализатора помеховой обстановки, приведена на рисунке.

Одной из важнейших задач в процессе синтеза дискретно-адаптивной системы является разработка эффективного анализатора помеховой обстановки.



Структурная схема ДАС:

КИП — компенсатор импульсной помехи; ПКП — подавитель коррелированной помехи; НН — некогерентный накопитель; БП — блок памяти, в котором хранится конечный набор вычисленных априори значений векторов параметров $W_{gi}, i = \overline{1, M}$; ОИП — обнаружитель импульсной помехи; АПО — анализатор помеховой обстановки, включающий ОИП; ККП — классификатор коррелированной помехи; ИУП — измеритель уровня некоррелированной помехи

Для гауссовой аппроксимации плотности распределения вероятности помехи на входе ККП и ПКП оптимальное по критерию минимума апостериорного риска правило распознавания классов коррелированной помехи сводится к определению максимума среди взвешенных функций правдоподобия

$$C_i p(X/B_i) = \max_j C_j p(X/B_j), \quad (4)$$

где C_j — коэффициент, зависящий от априорных вероятностей и потерь, соответствующих распознаваемым классам; $p(X/B_j)$ — совместная плотность распределения вероятности n статически независимых N -мерных векторов случайного процесса X с вектором средних значений $\mu = 0$ и ковариационной матрицей B_j .

В случае если коэффициенты C_j для всех классов одинаковы (критерий максимального правдоподобия), правило выбора вектора параметров W_{gi} дискретно-адаптивной системы обработки можно записать в виде

$$\text{если } \ln|B_i| + \text{Tr } B_i^{-1} B_K = \min_j \{ \ln|B_j| + \text{Tr } B_j^{-1} B_K \},$$

где $\text{Tr}(\quad)$ — след матрицы;

то $W_{gi} = W_g(B_i)$.

Очевидно, что сложность построения ДАС в значительной степени зависит от допустимого уровня максимальных потерь эффективности по сравнению с системой с непрерывным изменением параметров, а также от размерности и объема области $B(\theta)$, определяющих в совокупности необходимое количество режимов помехозащиты, а следовательно, и аппаратные затраты на реализацию ККП и БП.

Для ряда моделей радиолокационных сигналов, таких, например, как большая пачка когерентных радиоимпульсов, измеритель уровня некоррелированной помехи на выходе ПКП, входящий в состав АПО, позволит выбрать приемлемые соотношения между длительностью когерентной и некогерентной обработки.

Таким образом, предложен упрощенный с точки зрения вычислительной сложности дискретно-адаптивный алгоритм обработки радиосигнала в условиях ограниченного комплекса разнородных помех. Разработана структурная схема одноканального по доплеровской частоте сигнала дискретно-адаптивного обнаружителя, функционирующего в условиях аддитивной смеси импульсной, коррелированной и некоррелированной гауссовых помех.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Merrill I. Skolnik. Radar handbook. Third Edition. 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., Синяков Д. О. Алгоритм когерентно-некогерентной обработки радиосигналов в условиях комплекса помех // 20-я Международная научно-практическая конференция «Современные информационные и электронные технологии».— Украина, Одесса.— 2019.— С. 30—31.
5. Цевух І.В., Соколов А.В., Сакович А.А. Параметричний синтез дискретно-адаптивної одноканальної з доплеровської частоти системи обробки сигналу в умовах гаусових завад // Інформатика та математичні методи в моделюванні.— 2017.— Т. 7, № 4.— С. 291—299.

I. V. Tsevukh, I. S. Semenchuk

Discrete-adaptive signal detector for complex noise conditions

The authors propose a discrete-adaptive algorithm with a reduced computational complexity for radio signal processing under the conditions of a limited complex of heterogeneous noise. The paper presents a block diagram of a Doppler single-channel discrete-adaptive signal detector for the conditions of additive mixture of pulsed, correlated and uncorrelated Gaussian noise.

Keywords: radio signal, complex noise, discrete-adaptive processing.