

ОБНАРУЖИТЕЛЬ ИМПУЛЬСНОЙ ПОМЕХИ НА ФОНЕ АДДИТИВНОЙ СМЕСИ НЕКОРРЕЛИРОВАННОЙ И ДИСКРЕТНОЙ ПО ДАЛЬНОСТИ КОРРЕЛИРОВАННОЙ ГАУССОВЫХ ПОМЕХ

К. т. н. И. В. Цевух, А. А. Сакович, Л. В. Безруков

Государственный университет «Одесская политехника»

Украина, г. Одесса

itsevukh@gmail.com, sis97@ukr.net

Предложен алгоритм обнаружения импульсных помех для радиосистем извлечения информации. Приведены структурная схема и результаты исследования эффективности разработанного обнаружителя импульсной помехи в условиях аддитивной смеси некоррелированной и дискретной по дальности коррелированной гауссовых помех.

Ключевые слова: радиосистема, обнаружитель, импульсная помеха, гауссова помеха.

Одним из основных требований, предъявляемых к существующим и проектируемым многофункциональным системам извлечения информации (СИИ), является высокая помехозащищенность в условиях сложной, изменчивой и априорно неизвестной помеховой обстановки. При допустимости гауссовых моделей, входящих в некоторый комплекс помех, оптимальный по критерию максимума отношения сигнал/помеха, алгоритм обнаружения требует вычисления достаточной статистики вида [1]

$$l = X^* B_{\text{МВ}}^{-1} S, \quad (1)$$

где X — N -мерный вектор выборочных отсчетов входного процесса;

$B_{\text{МВ}}$ — ковариационная матрица мешающих воздействий;

S — вектор полезного сигнала;

* — знак комплексного сопряжения и транспонирования.

Для СИИ, функционирующих в условиях ограниченного комплекса мешающих воздействий, включающего, например, импульсную (ИП), коррелированную (КП) и некоррелированную (НП) помехи, оказывается возможным учесть разнородный характер типов помех [2]. Тогда с учетом априорной информации о характере мешающих воздействий, процедура обнаружения (1) полезного сигнала может быть записана в виде алгоритма с поочередной компенсацией входящих в комплекс импульсной, коррелированной и некоррелированной помех с ковариационными матрицами, соответственно, $B_{\text{и}} = \text{diag}\{\sigma_{\text{и}1}^2, \sigma_{\text{и}2}^2, \dots, \sigma_{\text{и}N}^2\}$, $B_{\text{к}} = \sigma_{\text{к}}^2 R_{\text{к}}$, $B_{\text{н}} = \sigma_{\text{н}}^2 I$, где $\sigma_{\text{и}j}^2$ ($j = \overline{1, N}$), $\sigma_{\text{к}}^2$, $\sigma_{\text{н}}^2$ — мощность помех; $R_{\text{к}}$ — корреляционная матрица коррелированной помехи:

$$l = X^* \{[(B_{\text{к}} + B_{\text{н}})^{-1} B_{\text{и}} + I]^{-1} [B_{\text{н}}^{-1} B_{\text{к}} + I]^{-1} B_{\text{н}}^{-1}\} S. \quad (2)$$

Преобразования решающей статистики, предписываемые выражением (2), сводятся к последовательно проводимым операциям оптимальной по критерию минимума среднего квадрата ошибки (СКО) компенсации импульсной помехи, подавления коррелированной помехи и некогерентного накопления.

В соответствии с алгоритмом (2), структурная схема адаптивной системы обработки полезного сигнала на фоне комплекса помех должна включать обнаружитель импульсной помехи (ОИП). Задача обнаружения импульсной помехи в условиях аддитивной смеси стационарных некоррелированной и коррелированной помех известной мощности решается сравнительно просто. Алгоритм обнаружения ИП в этом случае может быть получен, например, на основании теста отношения правдоподобия. Однако во многих практических ситуациях полные априорные сведения о параметрах входящих в комплекс помех недоступны [3]. Действительно, технические характеристики и стратегия работы постановщика ИП могут быть самыми различными, а КП — нестационарной по дальности, так как

условия наблюдения и характер местности от района к району весьма изменчивы и априорно не определены.

Целью данной работы является повышение вероятностных характеристик обнаружителя импульсных помех в условиях аддитивной смеси некоррелированной и дискретной по дальности коррелированной помех.

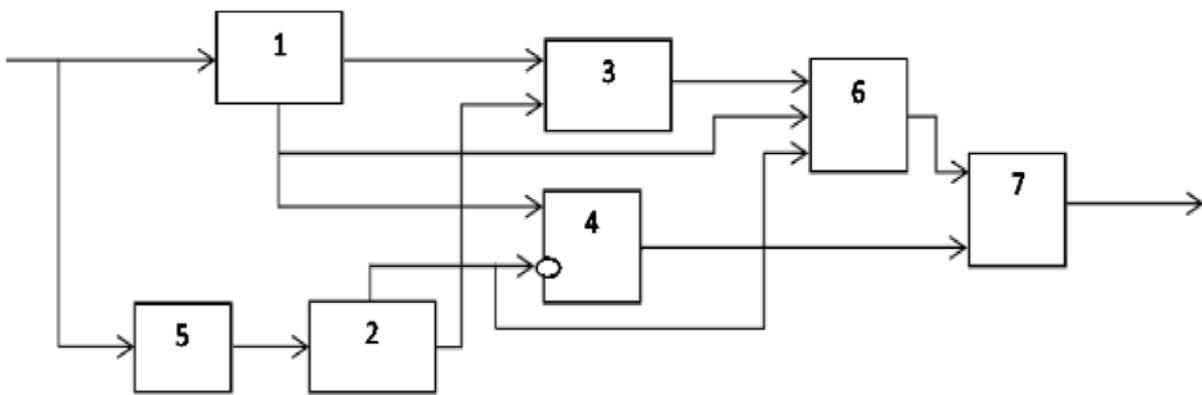
Известно [4], что процедура обнаружения импульсной помехи на фоне стационарной помехи с неизвестной интенсивностью сводится к сравнению квадрата модуля сигнала в анализируемом элементе k с домноженной на константу суммой квадратов модулей оставшихся элементов, не содержащих импульсную помеху:

$$|X_k|^2 \geq C \sum_{i=1}^n |X_i|^2, i \neq k \quad (3)$$

где C — коэффициент, определяемый исходя из заданной вероятности ложной тревоги и объема обучающей выборки n .

При изменении мощности подстилающей помехи алгоритм (3) становится неработоспособным, поскольку любой скачок нестационарной помехи будет восприниматься как импульсная помеха и исключаться из процесса измерения.

Для повышения эффективности обнаружения импульсных помех на фоне аддитивной смеси некоррелированной и дискретной по дальности коррелированной помехи разработано устройство, структурная схема которого представлена на рисунке.



Структурная схема ОИП

На рисунке введены следующие обозначения:

1 — обнаружитель ИП в k -м элементе разрешения по дальности j -го периода повторения, работающий по методу многих контрастов, когда решение о наличии импульсной помехи в k -м элементе разрешения по дальности принимается, если выполняется хотя бы одно из условий

$$C \cdot |X_{k,j}|^2 - |X_{k+1,j}|^2 > 0; C \cdot |X_{k,j}|^2 - |X_{k+2,j}|^2 > 0; \dots; C \cdot |X_{k,j}|^2 - |X_{k+(m-1),j}|^2 > 0, \quad (4)$$

где $X_{k,j}, X_{k+1,j}, \dots, X_{k+(m-1),j}$ — выборочные значения входного процесса в k -м, $(k+1)$ -м, $(k+(m-1))$ -м элементах разрешения по дальности j -го периода повторения;

2 — обнаружитель ИП в k -м элементе разрешения по дальности, реализующий алгоритм (4), для $(j-1)$ -го периода повторения;

3 — обнаружитель ИП в k -м элементе разрешения по результатам информации j -м и $(j-1)$ -м периодах повторения, работающий по алгоритму

$$C \cdot \max\{|X_{k,j}|^2; |X_{k,j-1}|^2\} - \min\{|X_{k,j}|^2; |X_{k,j-1}|^2\} > 0, \quad (5)$$

где $\max\{a; b\}, \min\{a; b\}$ — соответственно, максимальное и минимальное значения из величин a и b ;

4, 6 — двух- и трехвходовый логические элементы «И» соответственно;

5 — блок памяти, для запоминания информации на период повторения зондирующего сигнала;

7 — логический элемент «ИЛИ».

Квадрат модуля отсчета входного процесса $|X_{ij}|^2$ поступает на вход ОИП 1, определяющего наличие ИП в k -м элементе разрешения по дальности j -го периода повторения. На его выходе появляется уровень логической «1», если выполняется хотя бы одно из условий (4). На вход ОИП 2 входной процесс поступает с задержкой, равной длительности периода зондирования. В 2 происходит распознавание импульсной помехи в k -м элементе разрешения ($j-1$)-го периода. ОИП 3 определяет наличие импульсной помехи в k -м элементе разрешения по дальности путем сравнения с некоторым порогом оценки коэффициента корреляции, вычисленного по двум выборочным значениям, соответствующим k -му элементу разрешения по дальности в двух соседних периодах повторения. На его выходе будет уровень логической «1», если выполняется условие (5).

С целью проверки эффективности работы предложенного обнаружителя импульсных помех по сравнению с устройством, реализующим метод многих контрастов, было проведено статистическое моделирование их работы на ПК. Рассматривалось 200 элементов разрешения по дальности в двух соседних периодах повторения. В каждом элементе разрешения действовала некоррелированная помеха с гауссовой плотностью распределения вероятностей, а в элементах с 20 по 70 и с 120 по 150 — аддитивная смесь некоррелированной и коррелированной помехи также с гауссовой плотностью распределения вероятностей и модулем комплексного коэффициента корреляции $r = 0,99$. Элементы разрешения с номерами 5, 45, 65, 117, 148 первого периода повторения поражались импульсной помехой с отношением мощностей импульсной и некоррелированной помех $\beta_{\text{и}} = 80$ дБ. Работа обнаружителя в случае, когда один и тот же элемент разрешения по дальности поражен хаотической импульсной помехой сразу в двух соседних периодах повторения, не рассматривался ввиду априорного предположения о пренебрежимо малой вероятности наступления такого события.

Полученные результаты показывают, что при отношении мощностей коррелированной и некоррелированной помех $\lambda = \frac{\sigma_{\text{к}}^2}{\sigma_{\text{н}}^2} \leq 5 \dots 10$ дБ устройства обладают практически одинаковой эффективностью обнаружения импульсных помех. Однако с увеличением λ при одинаковой относительной частоте правильного обнаружения импульсной помехи относительная частота ложного обнаружения в разработанном устройстве оказывается значительно ниже, чем в известном устройстве. Так, например, при $\lambda = 40$ дБ и размере «скользящего окна» $n = 10$ относительная частота ложного обнаружения для комбинированного ОИП была равна нулю, тогда как для устройства, реализующего алгоритм (4), она составляла 0,08 (исследования проводились по двумстам независимым испытаниям).

Таким образом, предложенный алгоритм при $\lambda > 10$ дБ повышает вероятностные характеристики обнаружения импульсных помех в условиях аддитивной смеси некоррелированной и дискретной по дальности коррелированной помех.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Skolnik M. I. *Radar Handbook*, The McGraw-Hill Companies, 2008, 273 p.
2. Цевух И. В., Синяков Д. О. Алгоритм когерентно-некогерентной обработки радиосигналов в условиях комплекса помех. *Труды 20-й МНПК «Современные информационные и электронные технологии»*, Украина, Одесса, 2019, с. 30–31.
3. 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.
4. Levy B.C. *Principles of Signal Detection and Parameter Estimation*, N.-Y., Springer, 2008, 642 p.

I. V. Tsevukh, A. A. Sakovich, L. V. Bezrukov

Impulse noise detector for the conditions of additive mixture of uncorrelated and discrete in range correlated Gaussian noises

The paper proposes an algorithm for detecting impulse noise for radio systems of information extraction. The block diagram and the research results on the efficiency of the developed impulse noise detector under the conditions of additive mixture of uncorrelated and discrete in range correlated Gaussian noises are presented.

Keywords: radio system, detector, pulse noise, Gaussian noise.