

УДК 621.396.96

СТАБИЛИЗАЦИЯ УРОВНЯ ЛОЖНЫХ ТРЕВОГ В СИСТЕМЕ С КОГЕРЕНТНО-НЕКОГЕРЕНТНОЙ ОБРАБОТКОЙ РАДИОСИГНАЛОВ

К. т. н. И. В. Цевух, А. И. Малюта

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

itsevukh@gmail.com, antin.maliuta@gmail.com

Улучшена возможность практического применения статистики C^2 для обнаружения гауссового сигнала на фоне гауссовых помех в адаптивной системе с частичной когерентно-некогерентной обработкой с последующим некогерентным накоплением за счет упрощения определения порога для стабилизации вероятности ложной тревоги.

Ключевые слова: отношение правдоподобия, достаточная статистика, ковариационная матрица.

Для систем обнаружения радиолокационных сигналов, функционирующих в условиях сложной быстроменяющейся помеховой обстановки, обеспечение постоянного значения вероятности ложной тревоги является весьма актуальной задачей. Это относится, в том числе, и к системам с частичной когерентной обработкой сигнала с последующим некогерентным накоплением. Понятно, что использование такой когерентно-некогерентной обработки при полностью когерентном сигнале является отступлением от оптимального по критерию максимума отношения правдоподобия алгоритма и приводит к ухудшению характеристик обнаружения. Однако для ряда сигналов, таких, например, как большая пачка когерентных радиоимпульсов, при выборе приемлемых соотношений между длительностью когерентной и некогерентной обработки это ухудшение может быть незначительным и практически вполне приемлемым [1]. В [2, 3] для решения задачи обнаружения импульсного сигнала на фоне гауссовых помех с неизвестными корреляционными свойствами предложено использовать 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}_Π — оценка максимального правдоподобия ковариационной матрицы помехи; * — знак комплексного сопряжения и транспонирования.

T^2 представляет собой статистику Хотеллинга для проверки гипотезы H_0 : X — принадлежит гауссовому распределению $N(0, B_\Pi)$ (только помеха) против альтернативы H_1 : выборка принадлежит гауссовому распределению $N(\mu, B_\Pi)$, $\mu \neq 0$ (помеха + сигнал) для неизвестной ковариационной матрицы помехи B_Π и конечного объема выборки n . Критерий, сводящийся к сравнению (1) с постоянным порогом T_0 , который зависит только от вероятности ложной тревоги F и размерности N матрицы помехи B_Π , является равномерно наиболее мощным и инвариантным к B_Π критерием проверки указанной гипотезы. В [4] показано, что T_0 можно определить из выражения

$$F = 1 - B\left(\frac{N}{2}, \frac{m - N + 1}{2}, \frac{T_0}{m + T_0}\right) / B\left(\frac{N}{2}, \frac{m - N + 1}{2}\right), \quad (3)$$

где m — объем обучающей выборки; $B(m, l, k) = \int_0^k x^{m-1} (1-x)^{l-1} dx$ — неполная бета-функция.

Статистика C^2 в (2) получена из отношения правдоподобия при допущении, что уровень полезного сигнала мал по сравнению с уровнем коррелированных помех, а разрешающая способность по доплеровской фазе сигнала игнорируется. Для гауссовых моделей сигнала и помех алгоритмы обнаружения, построенные на базе обеих этих статистик, по критерию отношения правдоподобия являются оптимальными. В [2] показано, что эффективность алгоритма, использующего статистику C^2 , по вероятностным показателям для данных моделей сигнала и помех оказывается выше алгоритма, использующего

статистику T^2 Хотеллинга. Однако построение систем обнаружения радиосигналов на базе (2) затруднено из-за необходимости обеспечения для стабилизации вероятности ложной тревоги остоянной подстройки порога C_0 , который в свою очередь, зависит от оценки параметров ковариационной матрицы помехи V_{Π} .

Цель работы — решение задачи стабилизации вероятности ложной тревоги F при обнаружении больших пачек когерентных радиоимпульсов в системах с частично когерентно-некогерентной обработкой по алгоритму (2) и с последующим только некогерентным накоплением.

Рассмотрим возможность формирования порога лишь по первым моментам процесса на входе решающего устройства. В [5] предложен метод формирования порогового уровня на основе разложения исходной функции распределения в ряд Лаггера. В этом случае, связь вероятности ложной тревоги со средним значением и дисперсией случайной величины определяется зависимостью

$$F = \Gamma\left(\frac{\mu_1^2}{\mu_2}, \frac{\mu_1 C_0}{\mu_2}\right) / \Gamma\left(\frac{\mu_1^2}{\mu_2}\right), \quad (4)$$

где μ_1 и μ_2 — среднее значение и дисперсия процесса на выходе некогерентного накопителя; $\Gamma(\alpha, x)$ и $\Gamma(\alpha)$ — неполная и полная гамма-функции. В [5] показано, что при заданных вероятностях ложной тревоги зависимость порога от значений μ_1 и μ_2/μ_1 , полученная из (4), хорошо аппроксимируется линейной зависимостью вида

$$C_0 = A\mu_1 + D\frac{\mu_2}{\mu_1}, \quad (5)$$

где $A=1,55$; D — коэффициент, зависящий от значений вероятности ложной тревоги F (так, для $F=10^{-6}$ $D=17$, а для $F=10^{-4}$ $D=10$).

Указанная аппроксимация справедлива для широкого диапазона значений вероятности ложной тревоги $F=10^{-1}$ — 10^{-8} и числа импульсов в пачке $n=4$ — 100 при произвольных формах спектра флюктуаций коррелированной помехи [5].

В условиях, когда априорная неопределенность спектрально-корреляционных характеристик процесса на входе решающего устройства носит характер параметрической, одним из путей ее преодоления является использование адаптивного Байесова подхода. В нашем случае это сводится к замене в полученном выражении (5) параметров μ_1 и μ_2 их оценками максимального правдоподобия $\hat{\mu}_1$ и $\hat{\mu}_2$. Тогда оценка порогового уровня для стабилизации F имеет вид

$$\hat{C}_0 = A\hat{\mu}_1 + D\frac{\hat{\mu}_2}{\hat{\mu}_1}. \quad (6)$$

Использование (6) для формирования порога, стабилизирующего вероятность ложной тревоги, повышает возможность практического применения статистики C^2 для построения адаптивного обнаружителя гауссового сигнала на фоне гауссовых помех в системах с частичной когерентно-некогерентной обработкой с последующим некогерентным накоплением.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Слока В. К. Вопросы обработки радиолокационных сигналов.— Москва: Сов. радио, 1970.
2. Баргенов 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.
3. Цевух И.В. Алгоритм обработки гауссовых сигналов в условиях гауссовых помех // Радиоэлектроника.— 1988.— № 12.— С. 53–54.
4. Аверочкин В.А. Характеристики рекуррентного обнаружителя Хотеллинга // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова.— 2004.— № 3.— С. 51–53.
5. Гриняев А. О., Кошевой В. М., Цыганов О. В. Метод стабилизации вероятности ложной тревоги в системах с частичной когерентной фильтрацией с последующим некогерентным накоплением.

I. V. Tsevukh, A. I. Maliuta

Stabilization of the level of false alarms in a coherent/noncoherent radar processing system.

The possibility has been improved for practical application of C^2 statistics for detection of Gaussian signal in Gaussian noise in an adaptive system with partial coherent/noncoherent treatment followed by noncoherent accumulation by means of simplifying the determination of the threshold of stabilization of false alarm probability.

Keywords: *likelihood ratio, sufficient statistics, covariance matrix.*