

УДК 621.396.96

УПРОЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ГАУССОВЫХ ПОМЕХ

К. т. н. И. В. Цевух, И. В. Марченко

Одесский национальный политехнический университет

Украина, г. Одесса

itsevukh@gmail.com, il-marc@yandex.ua

Предложено построение упрощенного с точки зрения вычислительной сложности алгоритма обнаружения импульсного сигнала в условиях гауссовых помех и проведено сравнительное исследование его эффективности, по результатам которого даны рекомендации по его практическому применению.

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

Наиболее общим подходом к решению задачи обнаружения полезных сигналов в условиях помех является нахождение отношения правдоподобия или соответствующей ему достаточной статистики и сравнения их с некоторым порогом. Для гауссовых моделей сигнала и помех синтезированная на основе теста отношения правдоподобия структура оптимального обнаружителя определяется достаточной статистикой вида [1]

$$d = X^*[B_{\Pi}^{-1} - (B_c + B_{\Pi})^{-1}]X, \quad (1)$$

где X — N - мерный вектор входного процесса; B_c, B_{Π} — ковариационные матрицы сигнала и помехи; * — знак комплексного сопряжения и транспонирования.

Сложность реализации алгоритма обработки (1) в классе нелинейных структур требует поиска упрощенных вариантов его построения. Для этого в [2] предложен алгоритм одноканальной по доплеровской фазе сигнала обработки, реализующий достаточную статистику вида

$$c^2 = X^*B_{\Pi}^{-2}X. \quad (2)$$

Целью данной работы является разработка на базе (2) более простого по вычислительной сложности алгоритма и сравнительное исследование его эффективности.

Представим (2) в виде

$$c^2 = X^*B_{\Pi}^{-1}B_{\Pi}^{-1}X = |[X^*V_N^1, X^*V_N^2, \dots, X^*V_N^{(i)}, \dots, X^*V_N^N]|^2, \quad (3)$$

где $V_N^{(i)} = B_{\Pi}^{-1}e_i$; e_i — i -й столбец единичной матрицы I_N размера $N \times N$.

В (3) каждое произведение $X^*V_N^{(i)}$ можно рассматривать как результат прохождения входного вектора X через нерекурсивный фильтр с весовыми коэффициентами $V_N^{(i)}$.

Очевидным путем снижения вычислительной сложности системы обработки (3) при контролируемых потерях эффективности является сокращение числа входящих в нее фильтров. Понятно, что предельным случаем упрощения такой системы есть уменьшение числа входящих в нее фильтров до одного. В этом случае упрощенный алгоритм обработки сигнала на фоне гауссовых помех приобретает вид

$$\lambda^{(i)} = |X^*V_N^{(i)}|^2, \quad (4)$$

где $i = 1, \dots, N$.

Отметим, что вектор весовых коэффициентов $V_N^{(i)}$, с точностью до постоянного множителя совпадающий с i -м столбцом обратной ковариационной матрицы B_{Π}^{-1} , является оптимальным по критерию минимума среднеквадратической ошибки. Причем наиболее интересными по этому критерию вариантами, когда мощность помехи на выходе фильтра минимальна, являются случаи, когда вектор $V_N^{(i)}$ пропорционален первому $i = 1$ или последнему $i = N$ столбцам обратной матрицы B_{Π}^{-1} .

Однако сравнение систем обнаружения полезного сигнала на фоне помех по критерию минимума помехи на их выходе не дает объективного представления об эффективности подобных систем. Поэтому сравнивать различные варианты реализации ($i = 1, \dots, N$) алгоритма (4) между собой и с алгоритмом, реализующим статистику вида $c^2 = X^*B_{\Pi}^{-2}X$, а также с алгоритмом, реализующим ста-

тистику вида $t^2 = X^* B_{\Pi}^{-1} X$ (5), будем по вероятностным показателям — вероятности правильного обнаружения D при заданной вероятности ложной тревоги F в зависимости от отношения сигнал/шум q на входе системы. На рис. 1 представлены результаты исследования эффективности, полученные методом статистического моделирования для $N=5$, $F=10^{-3}$. Полагалось, что коррелированная помеха имеет гауссовую $\beta = 1$ (рис. 1 а, б) и экспоненциальную $\beta = 2$ (рис. 1 в, г) форму спектра флуктуаций, значение модуля первого междупериодного коэффициента корреляции $r_1 = 0.99$ (рис. 1 а, в) и $r_1 = 0.95$ (рис. 1 б, г), отношение шум/коррелированная помеха $\alpha = -30$ дБ.

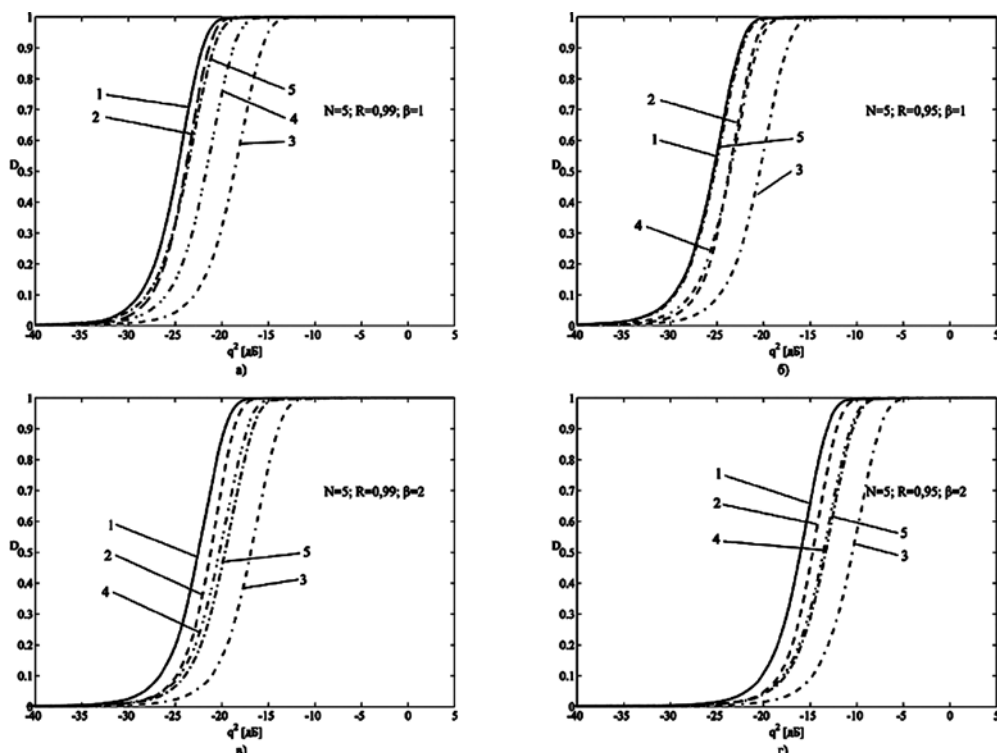


Рис.1. Характеристики обнаружения:

- 1 — алгоритм (2) ; 2 — алгоритм (5) ; 3 — алгоритм (4) при $i = 1, 5$;
 4 — алгоритм (4) при $i = 2, 4$; 5 — алгоритм (4) при $i = 3$

Из графиков видно, что по вероятностным показателям эффективности для реализации упрощенного алгоритма (4) предпочтительнее оказывается вариант, при котором в качестве вектора весовых коэффициентов выбирается не первый или последний, а средний столбец ковариационной матрицы помехи. Аналогичные результаты были получены для $N=3$ и $N=7$.

Таким образом, предложен упрощенный с точки зрения вычислительной сложности алгоритм обнаружения импульсного сигнала в условиях гауссовых помех и проведено сравнительное исследование его эффективности.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Введение в статистическую теорию связи : в 2-х томах / Мидлтон Д.— Москва: Сов.радио, Т.1, 1961. — 782 с.,Т.2, 1962. — 832 с.
2. Цевух И.В. Алгоритм обработки гауссовых сигналов условиях гауссовых помех // Радиоэлектроника.— 1988.— №12.— С. 53—54.

I. V. Tsevukh, I. V. Marchenko

The simplified algorithm for pulse signal processing in Gaussian noise conditions.

The authors present a construction of a computationally simplified algorithm for detecting a pulse signal in Gaussian noise conditions. The results of the comparative study of the algorithm effectiveness allowed giving recommendations on its practical application.

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