

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОХ НЕЛІНІЙНИХ ОДНОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ СИГНАЛУ В УМОВАХ ГАУСОВИХ ЗАВАД

К. т. н. І. В. Цевух, А. А. Сакович, В. І. Цевух

Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, м. Одеса
itsevukh@op.edu.ua

Проведено порівняльний аналіз ефективності двох нелінійних одноканальних систем обробки корисного сигналу в умовах адитивної суміші некорельованої та корельованої гаусових завад. Для визначення потенціальної ефективності порівнюваних алгоритмів застосовано показник поліпшення нелінійних систем виявлення.

Ключові слова: нелінійна одноканальна система, суміш завад, коефіцієнт поліпшення.

Виявлення сигналів рухомих цілей на тлі адитивної суміші некорельованої та корельованої (пасивної) завад є одним з актуальних і важких завдань, що вирішуються в радіолокаційних системах (РЛС) [1]. Завади маскують корисні сигнали, ускладнюючи тим самим процес обробки інформації, що може привести до пропуску цілі. Тому захист РЛС від завад є найважливішою задачею, а їхня завадозахищеність — однією з основних вимог, які висуваються до існуючих та проєктованих багатofункціональних систем вилучення інформації [2, 3].

В [4, 5] для розв'язання задачі виявлення імпульсного сигналу на фоні адитивної суміші некорельованої та корельованої гаусових завад з невідомими кореляційними властивостями запропоновано в класі нелінійних структур використовувати, відповідно, достатні статистики

$$t^2 = X^* \hat{B}_3^{-1} X; \quad (1)$$

$$c^2 = X^* \hat{B}_3^{-2} X; \quad (2)$$

де $\hat{B}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i X_i^*$ — оцінка максимальної правдоподібності коваріаційної матриці B_3 завади;

X_i — N -мірний вектор вибіркового відліку вхідного процесу;

n — обсяг навчальної вибірки;

$*$ — знак комплексного спряження та транспонування.

Статистика t^2 являє собою статистику Готелінга, а статистика c^2 отримана в [5] з відношення правдоподібності за припущення, що рівень корисного сигналу є малим у порівнянні з рівнем корельованих завад, а роздільна здатність з доплерівської фази сигналу ігнорується.

Метою цієї роботи є проведення порівняльного аналізу потенціальної ($n \rightarrow \infty$) ефективності двох наведених вище нелінійних одноканальних систем виявлення сигналу в умовах адитивної суміші некорельованої та корельованої гаусових завад.

Як критерій ефективності систем (1) і (2) виявлення сигналу застосуємо показник поліпшення P_F , який за аналогією з коефіцієнтом поліпшення I_F (*improvement factor*) для фільтрів систем селекції рухомих цілей є часткою ділення співвідношення сигнал/завада на виході нелінійної системи на співвідношення сигнал/завада на її вході, усереднений в усьому діапазоні радіальних швидкостей цілі.

Для алгоритму виявлення (2) при $n \rightarrow \infty$ показник поліпшення

$$P_{FC} = |V^* V|^2 / |V^* B_3 V|^2 = \text{Tr } B_3^{-2} / \text{Tr } B_3^{-1},$$

де $V^* = [V_N^{(1)}, V_N^{(2)}, \dots, V_N^{(i)}, \dots, V_N^{(N)}]$;

$V_N^{(i)} = B_3^{-1} e_i$;

e_i — i -й стовпчик одиничної матриці E_N розміром $N \times N$;

$\text{Tr} \{ \}$ — слід матриці.

Для алгоритму виявлення (1) при $n \rightarrow \infty$ показник поліпшення

$$P_{FT} = |U^*U|^2 / |U^*B_3 U|^2 = \text{Tr } B_3^{-1} / N,$$

де $U^* = [U_N^{(1)}, U_N^{(2)}, \dots, U_N^{(i)}, \dots, U_N^{(N)}]$;

$U = B_{3L}^{-1/2} e_i$;

$B_{3L}^{-1/2}$ — верхня трикутна матриця з розкладу Холецкого.

На рис. 1 наведено дані для проведення порівняльного аналізу ефективності алгоритмів (1) і (2) за критерієм “показника поліпшення” залежно від параметрів адитивної суміші некорельованої та корельованої завад. Вважалося, що корельована завада має гаусову ($\alpha = 1$) або експоненціальну ($\alpha = 2$) форму спектра флуктуацій, модуль першого міжперіодного коефіцієнта кореляції R приймає значення з діапазону $[0,9 \dots 0,99]$, задавалися розміри вектора вхідного процесу N і відношення «пасивна завада/шум» β : $N = 5, \beta = 40$ дБ (рис. 1, а) та $N = 7, \beta = 30$ дБ (рис. 1, б).

З графіків видно, що за застосуванням у роботі показником поліпшення P_F потенціальна ($n \rightarrow \infty$) ефективність обох алгоритмів (1) і (2) істотно залежить від швидкості спаду та нормованої ширини спектра завади ΔFT — тобто модуля першого міжперіодного коефіцієнта кореляції

$$R = f(\Delta F/F),$$

де ΔF — ширина спектра завади;

F — частота повторення РЛС.

Найбільш ефективно придушення пасивної завади відбувається у разі застосування гаусової апроксимації ($\alpha = 1$), яка характеризується швидким спадом спектра. У всіх проведених розрахунках потенційна ефективність виявника (2) для використаних в роботі параметрів завад була вищою, ніж ефективність виявника (1).

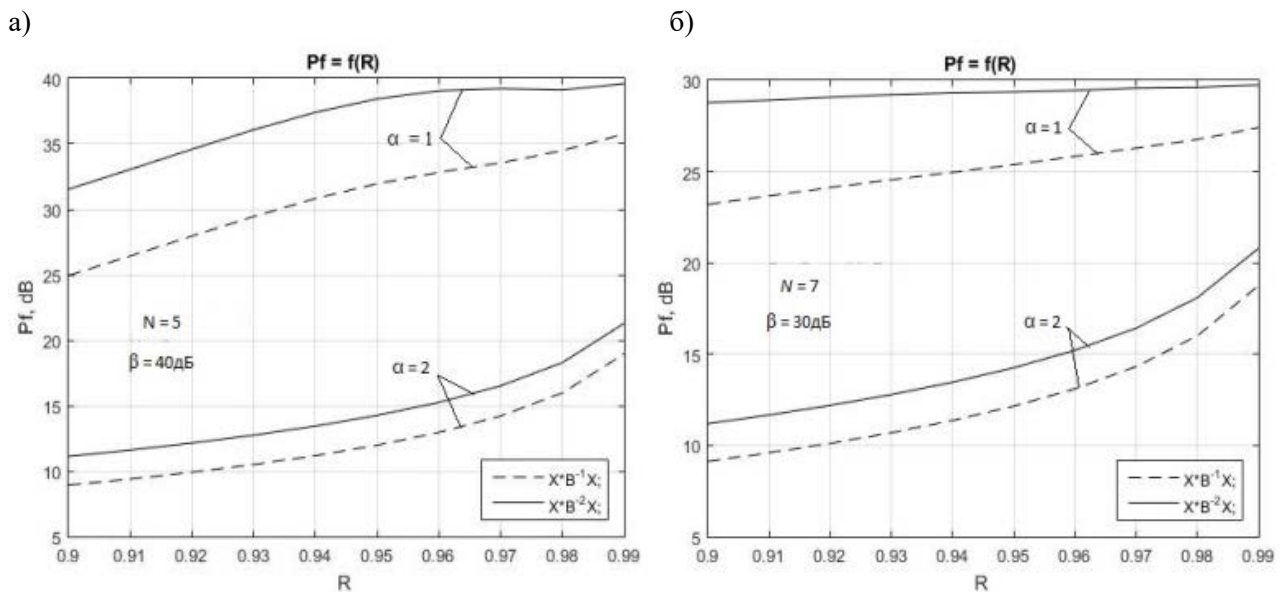


Рис. 1. Показники поліпшення алгоритмів (1) — пунктирна лінія та (2) — суцільна лінія залежно від модуля першого міжперіодного коефіцієнта кореляції R та параметрів адитивної суміші некорельованої та корельованої завад:

а — $N = 5, \beta = 40$ дБ; б — $N = 7, \beta = 30$ дБ

Таким чином, був проведений порівняльний аналіз потенційної ($n \rightarrow \infty$) ефективності двох нелінійних одноканальних систем виявлення корисного сигналу в умовах адитивної суміші некорельованої та корельованої гаусових завад. Для вирішення поставленого завдання аналізу виявників з

класу нелінійних структур був застосований показник поліпшення P_F , який є часткою ділення співвідношення сигнал/завада на виході нелінійної системи на співвідношення сигнал/завада на її вході, усередненим за всіма можливими радіальними швидкостями цілі. Встановлено, що за показником поліпшення та обраними в цій роботі параметрами адитивної суміші некорельованої та корельованої завад потенціальна ефективність розробленого в [5] алгоритму виявляється вище за ефективність алгоритму, що реалізує відому статистику Готелінга.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. *Radar Handbook*. Ed. by M. I. Skolnik. New York: McGraw–Hill, 2008, 1352 p.
2. *Principles of Modern Radar: Advanced Techniques*. Eds. W. L. Melvin, J. A. Scheer. New York: SciTech Publishing, IET, Edison, 2013, 846 p.
3. Richards M. A. *Fundamentals of Radar Signal Processing*. New York: McGraw Hill Education, 2014, 618 p.
4. Бартєнев 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.
5. Цєвух И.В. Алгоритм обработки гауссовых сигналов условиях гауссовых помех. *Радиоэлектроника*, 1988, № 12, с. 53–54.

I. V. Tsevukh, A. A. Sakovich, V. I. Tsevukh

Performance analysis of two nonlinear single-channel signal processing systems under Gaussian noise

The paper presents a comparative analysis of the performance of two non-linear single-channel systems for processing useful signals under the conditions of an additive mixture of uncorrelated and correlated Gaussian noise. To determine the potential effectiveness of the compared algorithms, the authors use an indicator of the improvement of nonlinear detection systems.

Keywords: non-linear single-channel system, additive mixture of noises, improvement factor.
