

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СПРОЩЕНИХ ОДНОКАНАЛЬНИХ ПРОЦЕДУР ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛУ В УМОВАХ ГАУСОВИХ ЗАВАД ЗА ПОКАЗНИКОМ ПОЛІПШЕННЯ

К. Т. Н. І. В. Цевух, А. А. Сакович

Національний університет «Одеська політехніка»

Україна, м. Одеса

itsevukh@op.edu.ua, anastasia9247ost@gmail.com

Проведено порівняльний аналіз ефективності спрощених нелінійних одноканальних за доплерівської частоти корисного сигналу систем виявлення в умовах адитивної суміші некорельованої та корельованої гаусових завад. Для визначення ефективності порівнюваних алгоритмів застосовано показник поліпшення систем виявлення.

Ключові слова: одноканальна система виявлення, суміш завад, показник поліпшення.

Для боротьби з малорозмірними цілями, що низько летять, використовують комплекси виявлення, які містять датчики, що працюють в оптичному й акустичному діапазонах та в радіолокаційних діапазонах електромагнітних хвиль. Підвищити точність виявлення цілей можна за допомогою мобільних радіолокаційних модулів (РЛМ) у складі таких комплексів. Крім того, на роботу подібних пристроїв слабо впливають погодні фактори та час доби, що вигідно відрізняє їх у цьому сенсі від оптичних і акустичних систем. Бажано, щоб в умовах складної, мінливої й апріорно невідомої завадової обстановки мобільні РЛМ функціонували швидко та ефективно.

Для побудови одноканальних за доплерівської частоти корисного сигналу РЛМ, що вирішують завдання виявлення імпульсного сигналу на тлі гаусових завад з невідомими кореляційними властивостями, у [1, 2] запропоновано 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 завади;

X_i — N -мірний вектор вибірових відліків вхідного процесу;

n — обсяг навчальної вибірки.

В [3] показано, що ефективність алгоритму, що використовує статистику c^2 , за показником поліпшення для гаусових моделей сигналу та завад виявляється вищою, ніж алгоритму, що використовує статистику t^2 Хотеллінга. Проте побудова систем оброблення на базі (2) ускладнена через необхідність вимірювання та обернення оцінки матриці завади, що вимагає великої кількості обчислень і додаткового, порівняно з (1), множення на оцінку оберненої коваріаційної матриці завади.

Метою цієї роботи є проведення порівняльного аналізу ефективності спрощених, з точки зору зниження їхньої обчислювальної складності, нелінійних одноканальних за доплерівської частоти корисного сигналу алгоритмів виявлення сигналу в умовах адитивної суміші некорельованої та корельованої гаусових завад і розроблення рекомендацій щодо їх практичного застосування в мобільних радіолокаційних модулях.

Запишемо алгоритм (2) таким чином:

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

де $|\cdot|^2$ — операція обчислення квадрата модуля комплексного вектора.

Кожен елемент вектора у (3) можна трактувати як результат проходження вхідного процесу X через нерекурсивний фільтр з ваговими коефіцієнтами $V_N^{(i)} = \hat{B}_3^{-1} e_i$.

Одним зі шляхів зниження обчислювальної складності системи обробки, що реалізує алгоритм (3), є зменшення числа фільтрів, які входять до її складу. Зрозуміло, що граничним випадком

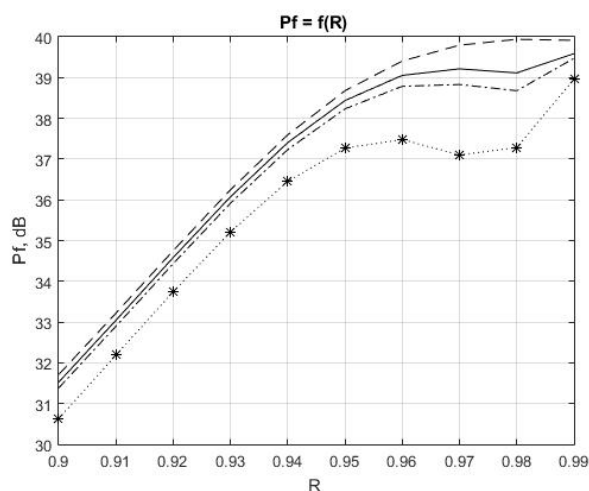
спрощення такої системи є скорочення числа фільтрів до одного. У цьому випадку спрощений алгоритм обробки сигналу на тлі гаусових завад набуває вигляду

$$c^{2(i)} = |X^* V_N^{(i)}|^2, \quad i = 1, \dots, N. \quad (4)$$

Порівняємо потенційну ($n \rightarrow \infty$) ефективність різних варіантів реалізації ($i = 1, \dots, N$) алгоритму (4) з алгоритмом (3) за показником поліпшення P_F , який є відношенням сигнал/завада на виході нелінійної системи до відношення сигнал/завада на її вході, усередненим в усьому діапазоні можливих радіальних швидкостей цілі.

На рис. 1 наведено результати досліджень ефективності 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 $[0,9 \dots 0,99]$, розмір вектора вхідного процесу N і відношення пасивна завада/шум β задавалися, відповідно, $N = 5$, $\beta = 40$ дБ.

а)



б)

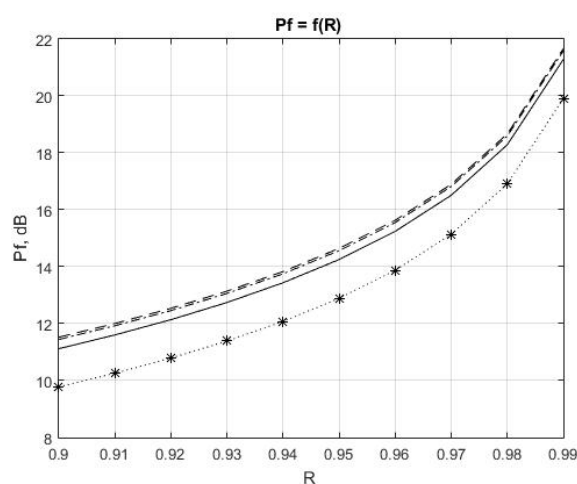


Рис. 1. Залежність показників поліпшення алгоритму (3) (суцільна лінія), алгоритму (4) при $i = 1$ або 5 (лінія зірочками), $i = 2$ або 4 (штрихпунктирна лінія), $i = 3$ (пунктирна лінія) від модуля першого міжперіодного коефіцієнта кореляції R для двох параметрів адитивної суміші некорельованої та корельованої завад:

а — $\alpha = 1$; б — $\alpha = 2$

З графіків на рис. 1 видно, що за показником поліпшення переважнішим є варіант, де як вектор вагових коефіцієнтів вибирається середній стовпець коваріаційної матриці завади (а не перший або останній). Аналогічні результати були отримані також для інших N .

Зазначимо, що вектор вагових коефіцієнтів $V_N^{(i)}$ у (4), який з точністю до постійного множника збігається з i -м стовпцем зворотної коваріаційної матриці завади, є оптимальним за критерієм мінімуму середньоквадратичної помилки. На практиці в класі лінійних структур знайшов застосування також алгоритм оброблення, що максимізує середнє відношення сигнал/завада:

$$Q = W_{CC3}^* W_{CC3} / W_{CC3}^* B_3 W_{CC3}, \quad (5)$$

де W_{CC3} є власним вектором матриці завади, відповідним до мінімального власного значення B_3 .

На рис. 2 наведено результати порівняльного аналізу ефективності алгоритмів (3), (4) при $i = 3$ та алгоритму

$$D^2 = |X^* W_{CC3}|^2. \quad (6)$$

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 $[0,9 \dots 0,99]$, розмір вектора вхідного процесу N і відношення пасивна завада/шум β задавалися, відповідно, $N = 5$, $\beta = 40$ дБ.

З графіків на рис. 2 видно, що за показником поліпшення при $\alpha = 2$ практично однаково ефективними є алгоритм (4) при $i = 3$ та алгоритм (6). При $\alpha = 1$ ефективнішим виявляється алгоритм (6), де як вектор вагових коефіцієнтів вибирається вектор, що максимізує середнє відношення сигнал/завада.

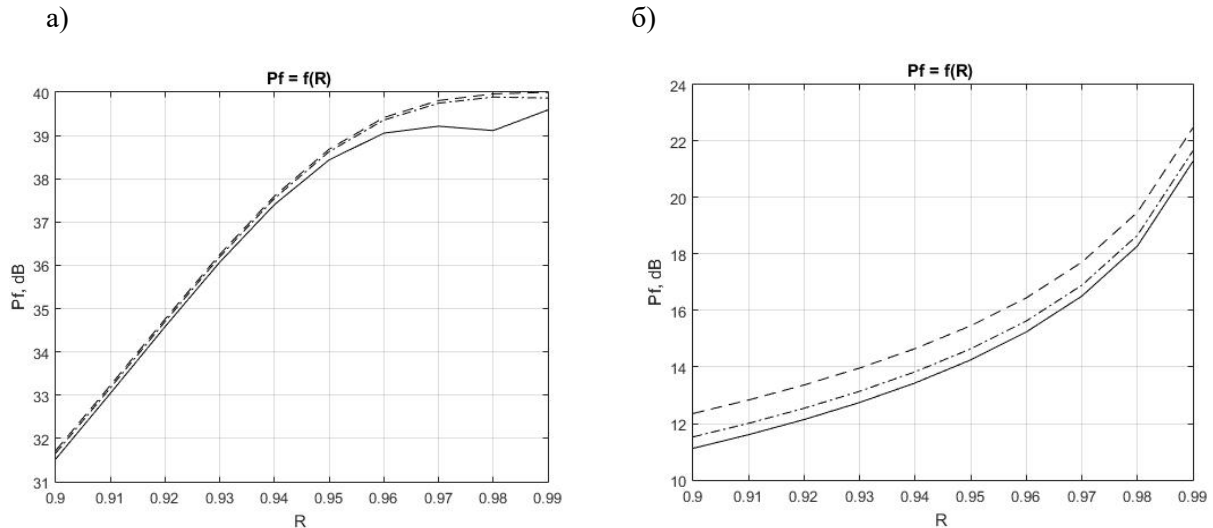


Рис. 2. Залежність показників поліпшення алгоритму (3) (суцільна лінія), алгоритму (4) $i = 3$ (штрихпунктирна лінія) та алгоритму (6) (пунктирна лінія) від модуля першого міжперіодного коефіцієнта кореляції R для двох параметрів адитивної суміші некорельованої та корельованої завад:
 a — $\alpha = 1$; b — $\alpha = 2$

Таким чином, порівняльний аналіз ефективності декількох спрощених за обчислювальною складністю одноканальних систем виявлення корисного сигналу в умовах адитивної суміші некорельованої та корельованої гаусових завад показав, що за показником поліпшення P_f і обраними параметрами адитивної суміші некорельованої та корельованої завад для практичного застосування в мобільних радіолокаційних модулях рекомендовано використовувати спрощений алгоритм, де як вектор вагових коефіцієнтів вибирається вектор $W_{\text{ССЗ}}$, що є власним вектором коваріаційної матриці завади, відповідним до мінімального власного значення цієї матриці.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Бартенев В.Г., Шлома А.М. О построении адаптивного обнаружителя импульсных сигналов на фоне нормальных помех с неизвестными корреляционными свойствами. *Радиоэлектроника*, 1988, №2, с. 3–8.
2. Цевух И.В. Алгоритм обработки гауссовых сигналов в условиях гауссовых помех. *Радиоэлектроника*, 1988, №12, с. 53–54.
3. Цевух И.В., Сакович А.А., Цевух В. І. Показник поліпшення нелінійних одноканальних систем обробки сигналу в умовах гаусових завад. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі*, 2023, № 1–2, с. 9–13. <https://doi.org/10.15222/ТКЕА2023.1-2.09>

I. V. TsevuKh, A. A. Sakovich

Analysis of the effectiveness of simplified single-channel procedures for signal detection under Gaussian noise conditions by improvement index

The authors carry out a comparative analysis of the effectiveness of simplified nonlinear single-channel detection systems by the Doppler frequency of the useful signal in the conditions of an additive mixture of uncorrelated and correlated Gaussian interference was carried out. To determine the efficiency of the compared algorithms, the improvement indicator of detection systems is applied.

Keywords: single-channel detection system, noises mixture, improvement index.