

ПІДВИЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ АКТИВНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ КОРДОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ СИГНАЛІВ В ПРИЙМАЧІ

В статті запропоновано метод обробки радіолокаційних ехо-сигналів на основі алгоритму додаткового автокореляційного оцінювання комплексної обвідної ехо-суміші, що дає змогу реалізувати наявну амплітудну та кутову модуляцію в радіолокаційних сигналах навіть без попередньої їх оцінки. Отримано ряд аналітичних виразів функцій невизначеності радіолокаційних сигналів при їх амплітудній та кутовій модуляції випадковими процесами з різними законами розподілу.

Шинкарук О.Н., Чесановський І.І., Іванов А.В. Повышение разделительной способности активных радиолокационных средств охраны границы с использованием алгоритма корреляционного оценивания сигналов в приемнике. В статье предложен метод обработки радиолокационных эхо-сигналов на основе алгоритма дополнительного автокорреляционного оценивания комплексной обводной эхо-смеси, которая дает возможность реализовать имеющуюся амплитудную и угловую модуляцию в радиолокационных сигналах даже без предварительной их оценки. Получено ряд аналитических выражений функций неопределенности радиолокационных сигналов при их амплитудной и угловой модуляции случайными процессами с различными законами распределения.

O. Shinkaruk, I. Chesanovskiy, A. Ivanov Improving separation capability of active radar border protection using an algorithm estimating the correlation signals at the receiver. In this paper it was proposed a method of radar echo signals on the basis of additional autocorrelation estimation algorithm integrated by pass echo mixture, which makes it possible to realize the existing amplitude and angle modulation in radar signals, even without pre-evaluation. It has been received a number of analytic expressions of the ambiguity function of radar signals when the amplitude and angular modulation of random processes with different laws of distribution.

Ключові слова: радіолокаційні засоби, радіолокаційні сигнали, кореляція, модуляція.

1. Формулювання задачі.

Дослідження недетермінованої моделі імпульсного радіолокаційного сигналу [3] показує наявність потенційної можливості щодо покращення характеристик активних та напівактивних радіолокаційних засобів. Це обумовлено наявністю додаткової амплітудної та кутової модуляції в зондуєчому сигналі [2], а отже і вищими їх потенційними можливостями. Проте, недетермінованість модулюючих складових, через їх флуктуаційну природу, не дає змоги застосувати оптимальний (узгоджений) алгоритм, а отже вони носять паразитний характер і єдиним можливим виходом, що застосовується на сьогоднішній день, є максимальна їх компенсація [1].

В статті пропонується дещо альтернативний підхід, а саме метод, що базується на використанні автокореляційних властивостей сигналу, при оцінці яких однаково враховуються як детерміновані, так і недетерміновані складові. Основна ідея методу базується на тому, що при напівактивній радіолокації всі ехо-сигнали в одному періоді зондування корельовані між собою як за детермінованими, так і за недетермінованими складовими [3,1].

2. Аналіз існуючих робіт та постановка задачі дослідження.

Математична модель групового ехо-сигналу – суміші ехо-сигналів від M – цілей, без урахування шумів та завад, може бути представлена у такому вигляді:

$$\dot{i}_{zp}(t) = \sum_{n=1}^M A_n U(t - \tau_n) \xi_u(t - \tau_n) \exp j(\omega_0 t + \omega_n(t - \tau_n) + \varphi_0 + \varphi_n + \xi_\varphi(t - \tau_n)), \quad (1)$$

де $\omega_n = \frac{4\pi \vartheta_{rn}}{\lambda}$ – доплерівське зміщення частоти; $\varphi_n = \frac{2\omega_0 D_n}{c}$ – фазовий зсув ехо-сигналу;

ϑ_{rn} – радіальна швидкість n -ї цілі (елементу цілі); D_n – відстань до n -ї цілі (елементу цілі).

Цей вираз містить сигнали з певними амплітудними і кутовими відмінностями, що вносяться при відбитті від різних цілей (елементів), проте всі вони мають ідентичні флукуаційні амплітудні і кутові модуляційні складові, внесені ще при формуванні зондуючого сигналу. Через флукуаційну природу цих складових, синтезувати оптимальну їм структуру алгоритму обробки неможливо, а можливо реалізувати лише оптимальний алгоритм по усереднених значеннях, який в реальних умовах є більше раціональним, ніж оптимальним.

Для оцінки потенційних можливостей розрізнення ехо-сигналів в такій суміші, необхідно проаналізувати її кореляційну функцію, яку зручніше виразити через комплексну обвідну.

Комплексна обвідна суміші ехо-сигналів (1) має вигляд:

$$\dot{U}_{zp}(t) = \sum_{n=1}^M A_n U(t - \tau_n) \xi_u(t - \tau_n) \exp j[\omega_n(t - \tau_n) + \xi_\varphi(t - \tau_n)] \exp j\varphi_n. \quad (2)$$

Як відомо із теорії кореляційного аналізу, кореляційна функція адитивної суміші комплексних обвідних (2) може бути представлена у вигляді суми взаємкореляційних функцій комплексних обвідних окремих ехо-сигналів:

$$B(\tau) = \sum_{n=1}^M \sum_{m=1}^M B_{n,m}(\tau), \quad (3)$$

або в матричному вигляді:

$$B_{n,m}(\tau) = \begin{pmatrix} B_{1,1}(\tau) & \dots & B_{1,M}(\tau) \\ \dots & \dots & \dots \\ B_{M,1}(\tau) & \dots & B_{M,M}(\tau) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Простий логічний аналіз матриці (4) показує, що елементи на головній діагоналі приймають максимальні значення при $\tau = 0$, а враховуючи ширину кореляційної функції прямокутного імпульсу можуть приймати ненульові значення тільки в межах ширини ($|\tau_{0.5}|$) основної пелюстки кореляційної функції кожного з ехо-сигналів в суміші, тобто

$$\text{при } n = m, \begin{cases} B_{n,m}(\tau) = \max, & \tau = 0, \\ B_{n,m}(\tau) \neq 0, & \tau \geq |\tau_{0.5}|, \\ B_{n,m}(\tau) = 0, & \tau > |\tau_{0.5}|. \end{cases} \quad (5)$$

Властивості кореляційної функції при $n \neq m$ мають наслідком такі твердження:

$$B_{n,m}(\tau) = B_{m,n}(\tau), \\ \sum_{n,m}^M B_{n,m}(0) \geq 2 \sum_{n=1}^M \sum_{m=n+1}^M B_{n,m}(\tau), \quad (6)$$

З (6) можна зробити такі висновки:

– на графіку автокореляційної функції суміші ехо-сигналів завжди буде присутня складова $B(0)$ не залежно від значення M , при чому для $M = 0$ значення $B(0)$ буде визначатися енергією шумів;

– на графіку автокореляційної функції суміші ехо-сигналів буде присутня тільки одна складова $B(0)$ як за $M=0$ так і за $M=1$, що фактично означає неспроможність автокореляційного алгоритму виявляти ехо-сигнали, а тільки їх розрізняти;

– максимальне значення взаємокореляційних членів $B_{n,m}(\tau)$, для $n \neq m$ не перевищує

$$\frac{1}{2} \sum_{n,m}^M B_{n,m}(0);$$

– автокореляційне оцінювання має сенс лише за умови, що тривалість імпульсу значно більша за ширину основної пелюстки автокореляційної функції $\tau_i \gg |\tau_{0.5}|$.

Таким чином, алгоритм автокореляційного оцінювання має сенс тільки у вигляді додаткового каналу обробки ехо-сигналів, а не основного і є ефективним лише за наявності значної додаткової модуляції не залежно від її детермінізму (природного або штучного походження).

3. Викладення результатів роботи

Структурна схема приймача, що реалізує метод підвищення ступеня розрізнення радіолокаційних ехо-сигналів на основі алгоритму автокореляційного оцінювання приведено на рис. 1.

Відповідно цієї структурної схеми, обробка ехо-сигналів з використанням недетермінованих кореляційних властивостей здійснюється в два етапи: на першому здійснюється виявлення в основному каналі приймання (встановлення факту наявності корисного сигналу); на другому – оцінюється кількість ехо-сигналів в суміші за її кореляційними властивостями.

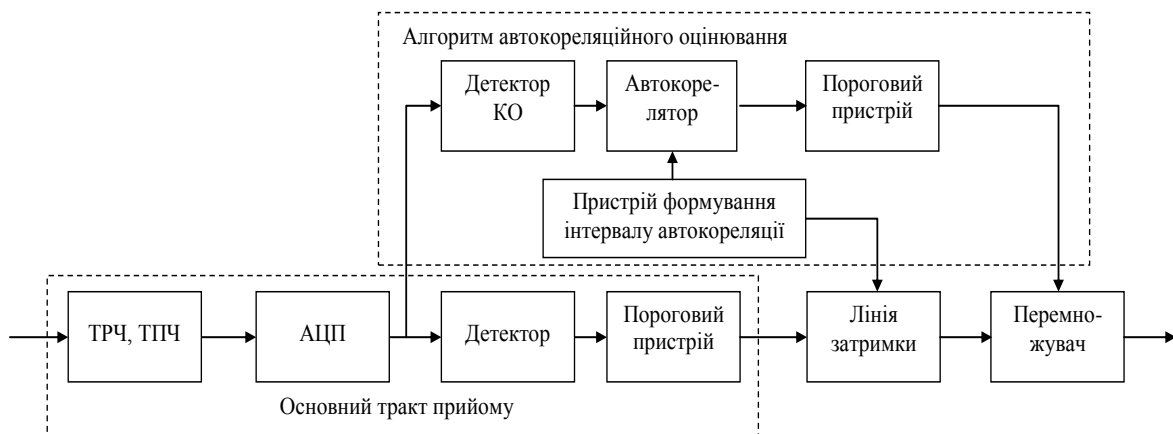


Рис. 1. Структурна схема приймача РЛС, що реалізує запропонований метод

На першому етапі, за класичним алгоритмом проводимо виявлення ехо-сигналів. Алгоритм є оптимальним для прямокутної форми комплексної обвідної і забезпечує розділення ехо-сигналів тільки за умови їх рознесення в часі.

На другому етапі, коли встановлено факт наявності ехо-сигналу і враховуючи, те що всі ехо-сигнали в межах періоду зондування корелюють між собою як за детермінованими, так і за недетермінованими складовими, для розрізнення окремих сигналів в суміші оцінюємо її автокореляційну функцію.

При цьому, ступінь розрізнення окремих сигналів у суміші визначає ширина основної пелюстки зондуючого сигналу з урахуванням недетермінованих модуляційних складових, яка за певних умов (природної нестабільності зондуючого сигналу), може бути значно вужчою, як це було показано в першому науковому результаті.

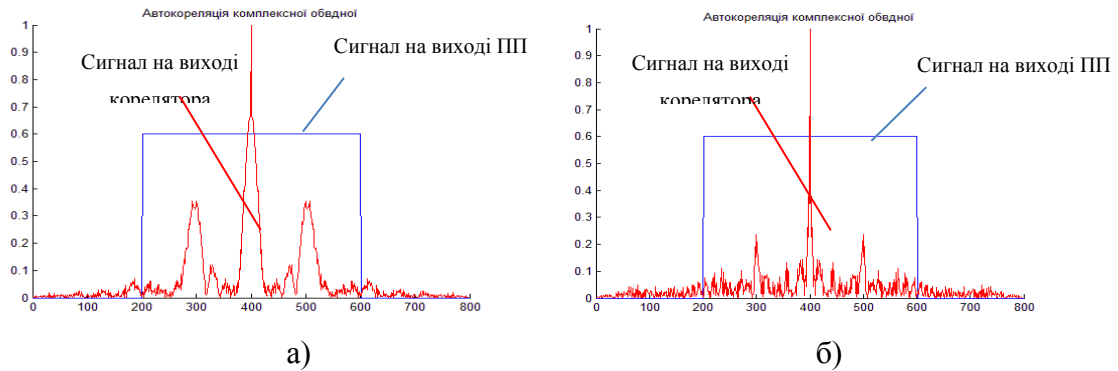


Рис. 2. Автокореляція комплексної обвідної суміші ехо-сигналів: а) при відношенні сигнал/шум на виході детектора комплексної обвідної +10 дБ; б) при відношенні сигнал/шум на виході детектора комплексної обвідної 0 дБ

Відповідно отриманих результатів, було проведено. Як видно із результатів імітаційного моделювання, урахування автокореляційних властивостей комплексної обвідної зондуєчих сигналів призводить до значного підвищення ступеня їх розрізнення.

На рисунках 2, а та 2, б показана форма автокореляційної функції двох ехо-сигналів з прямокутною обвідною та лінійною частотною модуляцією при різних девіаціях частоти, що фактично відповідає різній ширині смуги пропускання приймача та при різному відношенні сигнал/шум на виході детектора комплексної обвідної.

Як видно з графіків, не залежно від детермінованості комплексної обвідної її кореляційні властивості достатньо ефективно можуть бути застосовані. Проте, при дії шумів, за рахунок різкого спаду рівня взаємокореляції ехо-сигналів, картина погіршується, хоча при певному рівні взаємокореляційні відгуки все ще чітко проглядаються.

Таким чином, стає очевидним обмеження застосування методу, яке полягає в наступному: підвищення розрізнення ехо-сигналів можливе лише за умови стійкого їх приймання, за якого забезпечується детектування їх комплексної обвідної з відношенням сигнал/шум не гірше 0 дБ. Це саме підтверджується графіками залежності рівня взаємокореляційних складових по відношенню до сумарної енергії в залежності від співвідношення сигнал/шум комплексної обвідної, що показані на рис. 3.

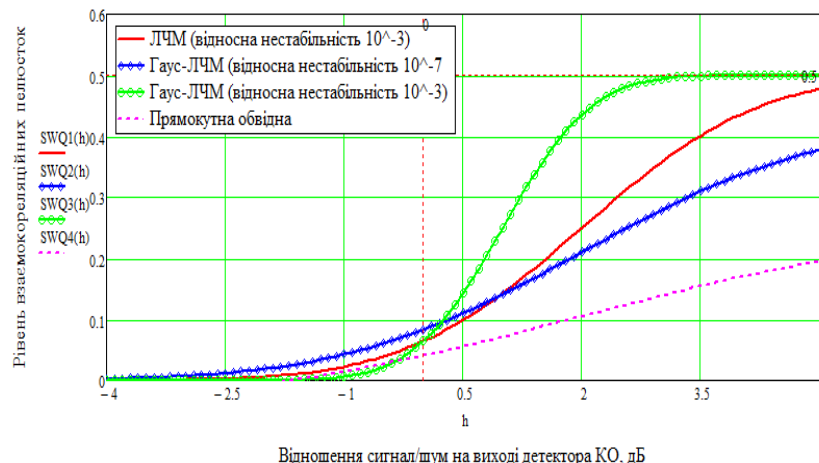


Рис. 3. Залежність нормованого рівня взаємокореляційних членів від відношення сигнал/шум на виході детектора комплексної обвідної

Як видно з графіків, тільки на рівні 0 дБ спостерігається сплеск у всіх випадках, незалежно від корельованості комплексної обвідної самого зондуєчого сигналу. Проте, при відношенні сигнал/шум вище 1 дБ виграш від застосування методу в значній мірі залежить

від форми комплексної обвідної зондуючого сигналу, при чому, на що слід наголосити – незалежно від її детермінованості.

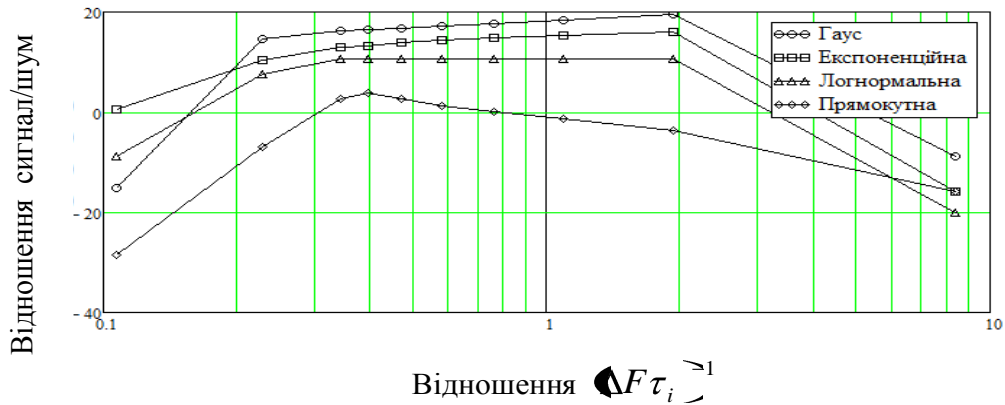


Рис. 4. Зміна відношення сигнал/шум при різному співвідношенні смуги пропускання та тривалості імпульсу

Висновки

Експериментальні дослідження та імітаційне моделювання, результати яких приведені на рис. 4 у вигляді графіків залежності відношення сигнал/шум на виході детектора від співвідношення ширини спектру сигналу до ширини смуги пропускання приймача показали, що в залежності від форми комплексної обвідної (яка визначається типом генератора НВЧ, способом побудови модулятора та його режимом роботи), скорочення тривалості зондуючого сигналу при постійній ширині смуги пропускання приймача дає змогу отримати вигреш в роздільній здатності в межах декількох разів при збереженні відношення сигнал/шум, або підвищити відношення сигнал/шум за рахунок звуження смуги пропускання приймача при збереженні тривалості імпульсу а відповідно і роздільної здатності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография/ Под редакцией А.В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003 – 512с.
2. Передающие устройства СВЧ: Учебное пособие для радиотехнических спец. вузов /Вамберский М.В., Казанцев В.И., Шелухин С.А.; под ред. М.В. Вамберского – М.: Высш. шк., 1984. – 448 с.
3. Карпова Л.В. Метод підвищення ступеня розрізнення ехо-сигналів при вирішенні задач активної та напівактивної радіолокації на основі кореляційного оцінювання квадратурної флуктуаційної складової // Вісник Хмельницького національного університету. Хмельницький. Технічні науки. – Хмельницький, 2010.– №4. – С.72 – 76.