

УДК 621.396

О.П. Гребенюк, викладач
Житомирський військовий інститут радіоелектроніки
В.В. Лук'яничук, ад'юнк
Харківський військовий університет
Б.В. Храбростін, д.т.н., с.н.с.
НЦ ВПС та ППО

ВИМІР ДАЛЬНОСТІ ДО ЦІЛІ НА ФОНІ ХМАРИ ДИПОЛЬНИХ ВІДБИВАЧІВ У РЛС З ПОВНИМ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИМ ЗОНДУВАННЯМ

Проводиться синтез часового дискримінатора при повному поляризаційному зондуванні на основі обробки чотирьохмірного поляризаційного вектора розсіювання цілі у суміші з нормальною завадою у вигляді хмари дипольних відбивачів за умови недостатності частотної різниці. У зв'язку з поганою обумовленістю коваріаційних матриць суміші сигналів і завад застосовується унітарне перетворення вхідного векторного сигналу у простір меншої розмірності. За допомогою алгоритму оцінювання визначається вихідний ефект часового дискримінатора.

Особливістю виміру координат цілей, які знаходяться у хмарі дипольних відбивачів є можлива відсутність істотних швидкісних або частотних різниць цілі та відбивачів, що потрапляють в елементарний об'єм. Крім того, сигнал, відбитий від пасивної завади, може значно перевищувати корисний сигнал за потужністю.

В цих умовах вимір дальності до цілі є проблематичним. Інтерес представляє використання методу повного поляризаційного зондування (ППЗ), який засновано на випромінюванні двох ортогональних за структурою сигналів на ортогональних поляризаціях і повному поляризаційному прийомі кожного з відбитих сигналів. Як показують дослідження, різниці багатомірного закону розподілення цільності ймовірності поляризаційних векторів розсіювання сигналів та завад можуть бути суттєвими, що і є основою для синтезу вимірювача дальності до цілі на фоні хмари дипольних відбивачів.

Вимір дальності до цілі полягає в оцінці запізнювання відбитого сигналу або, іншими словами, у вимірі часового положення цього сигналу на осі затримок. Оцінку максимальної правдоподібності часу запізнювання \hat{t}_z прийнятого сигналу \hat{Y}_i можна визначити як корінь рівняння

$$\frac{\partial \ln L\left(\frac{\hat{Y}_i}{\tau}\right)}{\partial \tau} = 0, \text{ при } \tau = \hat{\tau}. \tag{1}$$

При синтезі вимірювача дальності, або часу запізнення необхідно враховувати той факт, що в РЛС із повним поляризаційним зондуванням є можливість при i -ому зондуванні отримувати поляризаційний вектор розсіювання як функцію часу [1]:

$$\hat{Y}_i = \|Y_{1i} Y_{2i} Y_{12i} Y_{22i}\|^T, \tag{2}$$

де $\hat{Y}_i(t - t_s)$ – i -й відлік адитивної суміші корисного векторного сигналу, пасивної завади і власного шуму на вході системи обробки;

y_{ki} – відлік скалярного сигналу в i -му зондуванні на k -й поляризації при зондуванні та на l -й поляризації при прийомі.

Нехай вимір дальності здійснюється за допомогою виборки \hat{Y}_y обсягом $N \times \kappa$, де κ – це число відліків усередині перерізу автокореляційної функції по осі τ та являє собою дискретний гаусівський випадковий процес. Одиничний відлік поляризаційного вектора розсіювання уявимо у вигляді комплексного вектора:

$$\hat{Y}_i = \hat{Y}(t_i) = \alpha \hat{S}(t_i, \Theta) + \hat{n}_1(t_i) + \hat{n}_2(t_i), \tag{3}$$

де $\hat{S}(t_i, \Theta)$ – відлік ПВР цілі на момент часу $(t_i + \tau_j)$;

$\alpha = \begin{cases} 1, H_1 \\ 0, H_0 \end{cases}$ – параметр, що враховує наявність цілі;

$\vec{n}(t_i), \vec{\dot{n}}(t_i)$ – відліки поляризаційного вектора завади та поляризаційного вектора власних шумів приймальних каналів РЛС з повним поляризаційним зондуванням у той же момент часу $(t_i + \tau_j)$.

Вважаємо, що сусідні за часом відліки ПВР некорельовані. Складові, що входять до (3), можна прийняти незалежними, а тому поляризаційно-коваріаційні матриці (ПКМ) можна представити у вигляді:

$$\dot{M}_0 = \dot{M}_{II} + \dot{M}_{III}, \quad \dot{M}_1 = \dot{M}_C + \dot{M}_{II} + \dot{M}_{III}, \quad (4)$$

де \dot{M}_{II} – поляризаційно-коваріаційна матриця завади;

\dot{M}_{III} – поляризаційно-коваріаційна матриця шуму;

\dot{M}_C – поляризаційно-коваріаційна матриця корисного сигналу з урахуванням τ_j .

Поляризаційно-коваріаційні матриці (4) вважаємо апіорі відомими. Зокрема, ПКМ цілей можуть бути визначені розрахунковим або експериментальним шляхом, а ПКМ завади може бути обчислена за результатами оцінки в процесі адаптації.

Тоді на підставі [2] логарифм відношення правдоподібності можна записати таким чином:

$$\ln l = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \dot{Y}_i^{*T} L \dot{Y}_i - \ln \left(\frac{|\dot{M}_1|}{|\dot{M}_0|} \right), \quad (5)$$

де $L = \dot{M}_0^{-1} - \dot{M}_1^{-1}$ – вирішальна матриця;

\dot{Y}_i – значення кореляційного інтеграла на виході узгодженого фільтра.

$$Y_{ij} = Y(t_{ij}), \quad t_{ij} = t_i - t_{zanij} - \hat{t}_{zanij} = t_i - \tau_j, \quad (6)$$

де *, T – знаки комплексного спряження та транспонування відповідно.

Можна показати, що для вирішальної матриці справедливим є вираз

$$L = \dot{M}_1^{-1} \dot{M}_C \dot{M}_0^{-1}. \quad (7)$$

Тоді, за умови $\dot{M}_1 \approx \dot{M}_0$, логарифм відношення правдоподібності приймає такий вигляд:

$$\ln l = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \dot{Y}_i^{*T} \dot{M}_0^{-1} \dot{M}_C \dot{M}_0^{-1} \dot{Y}_i. \quad (8)$$

Матриця \dot{M}_0 для сукупності дипольних відбивачів, що потрапляють у розрішуемий об'єм РЛС, погано обумовлена. Тому при синтезі вимірювача дальності доцільно поляризаційний вектор розсіювання \dot{Y}_i перерахувати у нову систему координат, утворену нормованими власними векторами матриці \dot{M}_0 , що відповідають ненульовим значенням її власних чисел. У цьому випадку вираз (8), відповідно до [3], перетвориться у:

$$\ln l = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \dot{Y}_i^{*T} B_n (B_n^{*T} \dot{M}_0 B_n)^{-1} B_n^{*T} \dot{M}_C B_n (B_n^{*T} \dot{M}_0 B_n)^{-1} B_n^{*T} \dot{Y}_i, \quad (9)$$

де B_n – матриця, яка складена з власних векторів, що відповідають ненульовим власним значенням матриці \dot{M}_0 .

Підставляючи вираз (9) у (1), з урахуванням незалежності матриці \dot{M}_0 від оцінюваного параметра τ_j (часу запізнювання), одержимо вираз вихідного ефекту часового дискримінатора:

$$\Delta(\tau) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \dot{Y}_i^{*T} B_n (B_n^{*T} \dot{M}_0 B_n)^{-1} B_n^{*T} \dot{M}_C(\tau) B_n (B_n^{*T} \dot{M}_0 B_n)^{-1} B_n^{*T} \dot{Y}_i \Big|_{\tau=0}, \quad (10)$$

де $\dot{M}_C = \frac{\partial}{\partial \tau} \dot{M}_C(\tau)$.

З (10) випливає, що в оптимальному по мінімуму середньоквадратичної похибки часовому дискримінаторі реалізується когерентна компенсація корельованих по поляризації пасивних завад незалежно від часу запізнювання. Тому структура пристрою виміру часу запізнювання може мати вигляд, наведений на рис. 1.

Така структура пропонується до реалізації в РЛС з імпульсним зондуванням, в якій здійснюється заглушення корельованих по поляризації завад і обчислення нев'язки між положенням стробів дальності та відміткою від цілі.

Як видно з виразу (10), основні операції при оцінюванні такі:

1. Вимір комплексних амплітуд $U_{kl}(t_i)$ скалярних сумішей сигналу і перешкоди в чотирьох каналах РЛС.
2. Адаптивна оцінка поляризаційно-коваріаційної матриці завади.
3. Обчислення коваріаційних матриць $M_C + M_n + M_a$, $M_n + M_a$.
4. Визначення власних значень і нормованих власних векторів, що відповідають найбільшим власним значенням матриці $M_C + M_n + M_a$, та упорядкування знормованих власних векторів матриці перетворення B_n .
5. Лінійне перетворення комплексного вектора \dot{Y}_i за допомогою матриці B_n .
6. Обчислення матриць: $B_n^{*T} M_C B_n$, $B_n^{*T} (M_n + M_{ш}) B_n$, $B_n^{*T} (M_C + M_n + M_{ш}) B_n$.
7. Обернення матриці $B_n^{*T} (M_n + M_{ш}) B_n$ та оцінка часу запізнення відповідно до виразу (10).

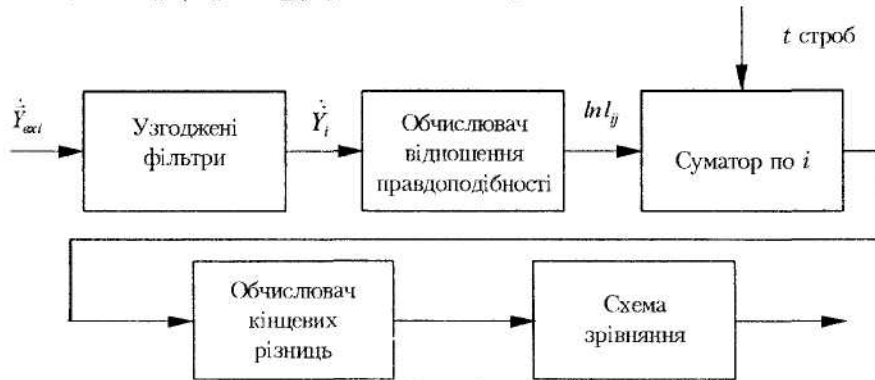


Рис. 1

Таким чином, часовий дискримінатор РЛС із ПІЗ повинен мати аналогову частину, що забезпечує прийом та формування поляризаційного вектора розсіювання, аналогово-цифрового перетворювача цих сигналів і цифрової частини, в якій робиться обчислення вихідного ефекту $\Delta(\tau)$.

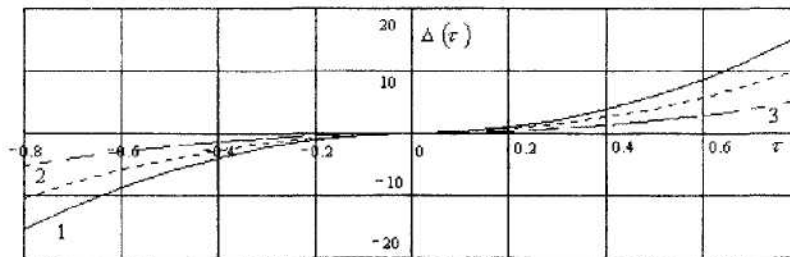


Рис. 2

Розглянемо результати статистичних іспитів алгоритму формування вихідного ефекту синтезованого часового дискримінатора. Іспит проводився при таких вихідних даних: відношення сигнал-шум $q_{СШ}^2 = 20 \text{ дБ}$, відношення сигнал-завада $q_{СП}^2 = 0 \text{ дБ}$, $q_{СП}^2 = -10 \text{ дБ}$, $q_{СП}^2 = -15 \text{ дБ}$. Пеленгування цілі, що слабо деполяризує, проводилося на фоні хмари дипольних відбивачів. У ході іспиту визначалися середні значення $\Delta(\tau)$ і середньоквадратичне відхилення $\sigma(\tau)$, за якими побудовані дискримінаційні та флюктуаційні характеристики для об'ємів вибірок $N = 20, 60, 100$.

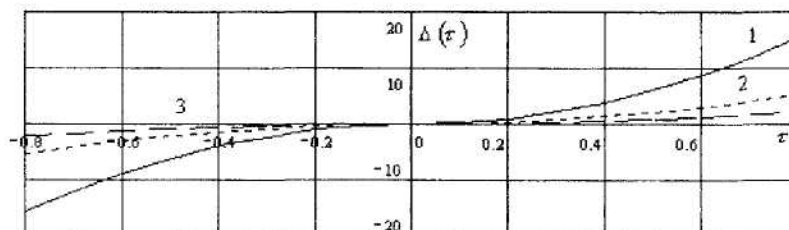


Рис. 3

На рис. 2 наведені дискримінаційні характеристики дискримінатора при вказаних обсягах виборок. Крива 1 відповідає обсягу вибірки $N = 20$, крива 2 – $N = 60$, а крива 3 – $N = 100$. На рис. 4 наведені флюктуаційні характеристики відповідно до тих же обсягів виборок. На рис. 3 і 5 зображені дискримінаційні та флюктуаційні характеристики при різних відношеннях сигнал–завада. Крива 1 відповідає $q_{СП}^2 = 0 \text{ дБ}$, крива 2 – $q_{СП}^2 = -5 \text{ дБ}$, крива 3 – $q_{СП}^2 = -10 \text{ дБ}$.

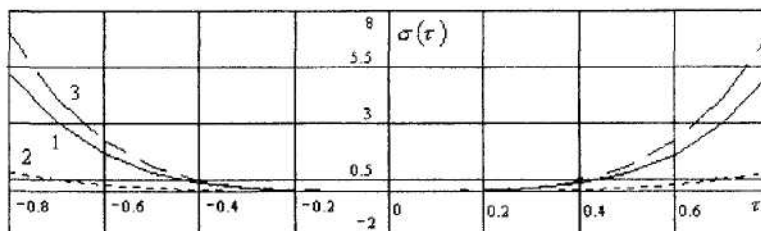


Рис. 4

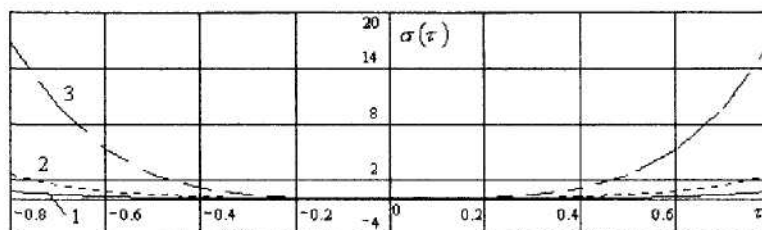


Рис. 5

На підставі досліджень можна стверджувати, що синтезований часовий дискримінатор для РЛС із ШІЗ може забезпечити супровід цілі на фоні хмари дипольних відбивачів при значно менших відношеннях сигнал–завада, ніж одноканальний по поляризації часовий дискримінатор. При цьому підвищення крутості дискримінаційної характеристики, а, отже, і точності виміру дальності до цілі, досягається за рахунок збільшення об'єму вибірки ПВР, а також за рахунок урахування поляризаційної структури сигналів та завад.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Поэлман А.Дж., Гай Дж. Р.Ф. Использование поляризационной информации в первичной РЛС. Перевод № 4 (252)/87 МО СССР, 1987.
2. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1987.
3. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. – М.: Радио и связь, 1986.

ГРЕБЕНЮК Олег Петрович – викладач Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– статистична теорія поляризаційної обробки.

ЛУК'ЯНЧУК Вадим Володимирович – ад'юнкт Харківського військового університету.

Наукові інтереси:

– статистична теорія поляризаційної обробки.

ХРАБРОСТІН Борис Володимирович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник Наукового Центру ВПС та ППО.

Наукові інтереси:

– виявлення та розпізнавання об'єктів на фоні завад за допомогою повного поляризаційного зондування.