

УДК 621.396

О.П. Гребенюк, викл.

О.І. Логінов, к.т.н., доц.

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ, ОСНОВАНИЙ НА ОРТОГОНАЛІЗАЦІЇ ПЛОЩИНИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ВЕКТОРА

Розглянуто алгоритм адаптивної поляризаційної обробки сигналів для РЛС з повним поляризаційним зондуванням в умовах дії випромінювань завад.

Викликає інтерес розгляд питань, пов'язаних з підвищенням ефективності виявлення сигналів в умовах, коли випромінювання завад перекривають сигнал в частотній та часовій областях та можуть діяти як по основному променю діаграми направленості антени, так і по боковим.

В цьому випадку переважне значення будуть мати поляризаційні відмінності сигналів та зовнішніх завадних випромінювань, оскільки просторові відмінності будемо вважати незначними.

Для підвищення ефективності поляризаційної обробки прийнятих сигналів доцільно використовувати в РЛС нове поляризаційне зондування (ППЗ) [1]. Під ППЗ розуміємо випромінювання взаємоортогональних за внутрішньою структурою сигналів на двох ортогональних поляризаціях та їх повний поляризаційний прийом. Цей процес дозволяє забезпечити одночасне вимірювання компонентів поляризаційного вектора (ПВ)

$$\dot{Y} = (\dot{Y}_{11}, \dot{Y}_{21}, \dot{Y}_{12}, \dot{Y}_{22})^T, \quad (1)$$

комплексні елементи якого відповідають елементам поляризаційної матриці розсіювання [2].

Завдання виявлення сигналу сформулюємо у вигляді перевірки двох гіпотез. В якості гіпотези H_1 будемо вважати наявність у вхідному поляризаційному векторі незалежних сигналу, завади і шуму. А для гіпотези H_0 – наявність тільки завади та шуму.

Формування елементів ПВ (1) відбувається на виходах антенної системи, що складається з двох каналних ортогональних антен, наприклад, хрест вібраторів.

Прийнятий сигнал можемо представити у вигляді суми двох статистично незалежних компонентів:

$$\dot{Y}(t_i) = m\dot{Y}p(t_i) + (1-m)\dot{Y}x(t_i), \quad (2)$$

що визначають регулярно $\dot{Y}p$ та хаотично поляризовані $\dot{Y}x$ складові еліпса поляризації, де $m = (0...1)$ відповідає ступеню поляризації [3].

Коливання, що приймаються кожним антенним елементом, є адитивною сумішшю відбитого від цілі сигналу $\dot{S}(t)$ та завадного випромінювання. Останнє складається з ПВ завади $\dot{n}(t)$ та внутрішніх шумів $\dot{\xi}(t)$.

Одиничні відліки вхідного поляризаційного вектора представимо у вигляді:

$$\bar{Y}(t_i) = \gamma_c \cdot \dot{S}(t_i) + \dot{n}(t_i) + \dot{\xi}(t_i), \quad i = (\overline{1, N}), \quad (3)$$

де γ_c – ознака наявності, або відсутності, сигналу у вхідному поляризаційному векторі.

Вважаємо, що частота зондування РЛС така, що сусідні за часом відліки ПВ незалежні, а завади представляють собою сукупність випромінювань, кожне з яких може мати різний ступінь поляризації та поляризаційні параметри.

Закон розподілення елементів ПВ будемо вважати багатомірним нормальним. Багатомірні щільності розподілення вхідного поляризаційного вектора для двох гіпотез опишемо відповідними векторами перших початкових моментів і матрицями других центральних

моментів – коваріаційно-поляризаційними матрицями. Коваріаційно-поляризаційні матриці (КПМ) для гіпотез H_1 і H_0 будуть такими:

$$\dot{M}_0 = \dot{M}_s + \dot{M}_w; \quad \dot{M}_1 = \dot{M}_c + \dot{M}_s + \dot{M}_w, \quad (4)$$

де \dot{M}_s – коваріаційно-поляризаційна матриця завади;

\dot{M}_c – КПМ сигналу відбитого від цілі;

\dot{M}_w – КПМ внутрішніх шумів.

Коваріаційно-поляризаційні матриці (4) вважаємо відомими. Зокрема, КПМ цілі можна отримати розрахунковим або експериментальним шляхом, а КПМ завади – за результатами адаптивного оцінювання шляхом усереднення вхідного ПВ за простором і часом. Вважаючи, що в процесі всього часу спостереження діаграма направленості РЛС відповідає одному і тому ж кутовому напрямку, можна записати оцінку КПМ завади на i -й часовий відлік [4]:

$$\dot{M}_{0i} = \frac{\sum_{t,i}^T \left(\vec{Y}_{t,i} - \vec{\mu}_i \right) \left(\vec{Y}_{t,i} - \vec{\mu}_i \right)^{T*}}{2(TL - 1)}, \quad t = \overline{(i - T), i}. \quad (5)$$

де \dot{M}_{0i} – коваріаційно-поляризаційна матриця завади;

T – розмір ковзаючого вікна по часу, який використовується при усередненні;

L – розмір ковзаючого вікна по простору, тобто по аналізуючих каналах дальності.

Доцільність використання лінійного згладжування методом ковзаючого вікна зумовлена простотою реалізації, можливою нестационарністю завади, а також помилками оцінювання КПМ завади та значно скорочує об'єм обчислень [4].

Відомі адаптивні системи, дія яких ґрунтована на максимізації відношення сигнал/завади.

Вихідний сигнал адаптивної системи можна представити в такому вигляді:

$$\dot{Z}_s(t) = \dot{W}^{T*} \dot{Y}(t), \quad (6)$$

де \dot{W} – деяка матриця перетворення.

В цьому випадку сигнальна та завадна складові вихідного вектора будуть мати вигляд:

$$\dot{Z}_s(t) = \dot{W}^{T*} \dot{S}(t); \quad \dot{Z}_{s+w}(t) = \dot{W}^{T*} \left(\dot{n}(t) + \dot{\xi}(t) \right). \quad (7)$$

Середня потужність вихідного сигналу визначається таким чином:

$$P_c = E \left\{ \left| \dot{W}^{T*} \dot{S} \right|^2 \right\} = \left| \dot{W}^{T*} \dot{M}_c \dot{W} \right|, \quad (8)$$

де $E\{\}$ – знак статистичного усереднення;

$|\dots|$ – норма матриці.

Потужність завади та шуму має вигляд:

$$P_{s+w} = E \left\{ \left| \dot{W}^{T*} \dot{n}_{s+w} \right|^2 \right\} = \left| \dot{W}^{T*} \dot{M}_0 \dot{W} \right|. \quad (9)$$

Вихідне відношення сигнал/завада можна представити як

$$q_{\%}^2 = \frac{\left| \dot{W}^{T*} \dot{M}_c \dot{W} \right|}{\left| \dot{W}^{T*} \dot{M}_0 \dot{W} \right|} = \frac{P_c}{P_s}. \quad (10)$$

Вирішення завдання досягнення максимуму виразу (10) можна провести шляхом диференціювання, прирівнювання до нуля та вирішення системи рівнянь. Інший спосіб зумовлений поляризаційними відмінностями сигналів і завад, зокрема, особливостями площин локалізації завади, і може бути виконаний за допомогою деякого перетворення вхідного поляризаційного вектора.

Перетворення повинно бути вибрано так, щоб потужність завадних складових на виході алгоритму обробки була мінімальною. В цьому випадку вирішальне правило алгоритму виявлення повинно забезпечувати умову, відповідно до якої проекції компонентів ПВ повинні бути в підпросторі, в якому мінімізується потужність завадних складових ПВ. В якості такого

підпростору можна використовувати підпростір, ортогональний до підпростору локалізації компонентів ПВ завади.

В роботі [1] показано, що КПМ є достатньо повною характеристикою області локалізації ПВ сигналів, що відбиті від цілі та завод, а власні вектори \vec{b} визначають підпростір локалізації компонентів ПВ. Проведений аналіз відмінностей параметрів областей локалізації ПВ сигналів, відбитих від цілі та завод [1], дозволяє зробити висновок про існування відмінностей як за орієнтацією (в просторі вимірюваних ознак C^n , де n – розмірність простору), так і за їх розмірністю. Наявність цих відмінностей визначається різною природою формування ПВ сигналів та завод, а також залежить від ступеня поляризації та поляризаційних параметрів радіохвиль.

Результати досліджень параметрів областей локалізації ПВ випромінювань завод дозволяють відмітити наступне.

Розмірність областей локалізації ПВ різного роду заводних випромінювань менша розмірності початкового простору ознак C^n [1]. Це ствердження може служити передумовою до визначення деякого підпростору в початковому просторі ознак, ймовірність попадання випадкових значень елементів ПВ в якій близька до нуля. Такий підпростір є ортогональним до підпростору локалізації компонентів ПВ заважаючих випромінювань.

Відомо, що сукупність векторів, ортогональних до власних векторів КПМ, які визначають орієнтацію підпростору локалізації ПВ заважаючих випромінювань, називається ортогональним доповненням та позначається B^\perp [6]. Оскільки матриця власних векторів визначає r -мірний підпростір локалізації ПВ в початковому просторі ознак при $r \leq n$, то дійсне відношення

$$C^n = B^r + B^\perp. \tag{11}$$

Викладене обгрунтовує можливість заглушення заважаючих випромінювань та виділення сигнальних складових ПВ шляхом проєкціювання вхідного ПВ в ортогональне доповнення. Наявність просторових відмінностей областей локалізації ПВ сигналу та заважаючих випромінювань, а також здійснення проєкціювання вхідного ПВ в ортогональне доповнення призводить до того, що заводні складові ПВ компенсуються, в той час, як сигнальна складова зазнає деяких змін.

Використовуючи значення B^\perp в якості ортогонального доповнення до початкової області локалізації ПВ завади, одержимо при гіпотезі H_1 :

$$\vec{Y}' = B^{\perp T*} \vec{Y} = B^{\perp T*} \vec{S} + B^{\perp T*} \vec{\eta} + B^{\perp T*} \vec{\xi} \cong \vec{S}' + \vec{\xi}'; \tag{12}$$

при гіпотезі N_0 :

$$\vec{Y}' = B^{\perp T*} \vec{Y} = B^{\perp T*} \vec{\eta} + B^{\perp T*} \vec{\xi} \cong \vec{\xi}'. \tag{13}$$

Для КПМ:

$$\dot{M}'_1 = B^{\perp} \dot{M}_1 B^{\perp T*} = B^{\perp} (\dot{M}_c + \dot{M} + \dot{M}_u) B^{\perp T*} = \dot{M}'_c + \dot{M}'_u + \varepsilon \cdot I, \quad \varepsilon \cong 0; \tag{14}$$

$$\dot{M}'_0 = B^{\perp} \dot{M}_0 B^{\perp T*} = \dot{M}'_u + \varepsilon \cdot I. \tag{15}$$

Узагальнюючи одержані результати, можна сказати, що використання ортогонального перетворення вхідного ПВ дозволяє провести компенсацію завади.

Підставивши значення перетвореного вхідного ПВ та КПМ у вирішальне правило алгоритму виявлення [5], одержимо вираз:

$$v = \dot{S}'(t)^{T*} \dot{M}'^{-1} \vec{Y}' \geq \frac{1}{2} q_{\%}^2 + A(K_0) = A'(K_0), \tag{16}$$

де $\dot{S}'(t)^{T*}$ – ваговий вектор сигналу; $A(K_0)$, $A'(K_0)$ – пороги виявлення.

Складовими частинами алгоритму виявлення сигналу на основі ортогональної проєкції площини локалізації ПВ завади є: адаптивна оцінка КПМ завади; визначення власних чисел та відповідних їм власних векторів КПМ завади; визначення рангу КПМ завади; визначення нормалей площини локалізації ПВ завади та визначення ортогонального доповнення до

підпростору локалізації ПВ завади; перетворення КПМ завади, вагового вектора та вхідного ПВ; визначення відношення (16) та порівняння з порогом.

Потенційні можливості алгоритму щодо заглушення завади будуть відповідати відношенню потужності перетворених компонентів ПВ сигналу до потужності некомпенсованої частини ПВ завад.

Таким чином, поляризаційна обробка сигналів, що базується на процедурі ортогоналізації площини локалізації ПВ, дозволяє покращити процедуру виявлення цілі шляхом заглушення завад. Це зумовлено існуванням відмінностей областей локалізації ПВ сигналів та завади в комплексному поляризаційному просторі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мартынюк А.А., Логинов А.И. Анализ поляризационно-статистических различий сигнала и активно-шумовой помехи: Сборник докладов IX ВНК. – Житомир: ЖВУРЭ ПВО, 1994.
2. Канарейкин Д.Б., Потехин В.А., Шишкин Н.Ф. Морская поляриметрия. – Москва: Судостроение, 1986. – 328 с.
3. Варганов М.Е., Зиновьев Ю.С., Сарычев В.Л., Астанин Л.Ю. и др. Радиолокационные характеристики летательных аппаратов/Под редакцией Тучнова Л.Т. – Радио и связь, 1985. – 236 с.
4. Монзинго Р.Л., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию: Пер. с англ. – Москва: Мнр, 1986. – 448 с.
5. Родимов А.И., Поповский В.В. Статистическая теория поляризационно-временной обработки сигналов и помех в линиях связи. – Москва: Радио и связь, 1984. – 271 с.
6. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – Москва: Наука, 1967.

ГРЕБЕНЮК Олег Петрович – викладач Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– статистична теорія поляризаційної обробки.

ЛОГІНОВ Олександр Іванович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського військового інституту радіоелектроніки.

Наукові інтереси:

– статистична теорія поляризаційної обробки.

Подано 23.12.1999.