

УДК 621.372.85

І. Ю. Кравцов, асп.;

В. М. Кичак, д-р техн. наук, проф.;

Ю. І. Кравцов

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Розглянуто принцип побудови еквідистантної чотириелементної антенної решітки для просторово-часової фільтрації, у якій використовуються властивості симетрії вагових коефіцієнтів і наочно показується можливість обчислення значень вагових коефіцієнтів, що забезпечують приймання сигналу з основного напрямку і компенсацію завадових сигналів, що надходять із напрямків відмінних від заданого.

Вступ

В процесі створення перспективних інформаційних радіо-телекомунікаційних систем (РТС) першочергова увага приділяється питанню забезпечення їх завадостійкості. У роботах [1, 2] розглядаються оптимальні і квазиоптимальні алгоритми компенсації активних шумових завад, а також пристрої, що реалізують ці алгоритми. Серед відомих методів завадозахисту інформаційних РТС особливе місце займають адаптивні алгоритми обробки сигналів. Їхньою відмінною рисою є підвищена робастність якості функціонування за наявності апріорної невизначеності, щодо законів і параметрів розподілення збуджуючих шумових впливів [3, 4]. Адаптивна обробка сигналу у надвисоко частотному (НВЧ) діапазоні дозволяє розширити відносну смугу частот, що підвищує інформаційну здатність системи [5, 6]. Також, технічна реалізація адаптивних систем у НВЧ діапазоні натрапляє на низку серйозних труднощів, що пов'язані зі специфікою функціональних вузлів адаптивних систем, що приводять до високої вартості, громіздкості і великого енергоспоживання [7, 8]. Тому виникає необхідність розробки систем просторово-часової фільтрації з меншою кількістю уніфікованих функціональних вузлів і блоків.

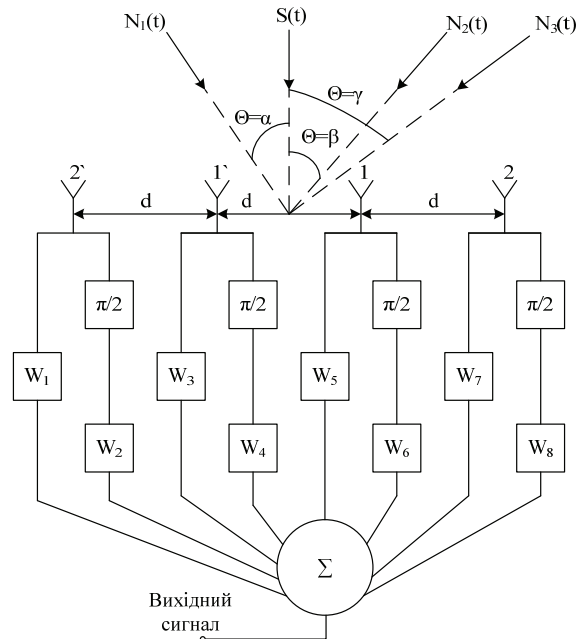
Основна частина

Розглянемо принцип просторово-часової фільтрації в еквідистантній чотириелементній антенній решітці, що наочно показує можливість обчислення значень вагових коефіцієнтів, що забезпечують приймання сигналу з основного напрямку і придушення сигналів завад приходять із напрямків, відмінних від заданого.

У кожному з каналів чотириелементної антенної решітки (рис.) сигнал розділяється на синфазну і квадратурну складові та надходить у пристрій регулювання вагових коефіцієнтів, які можуть мати різні значення як в додатній, так і в від'ємній області.

Для простоти обчислень приймаємо корисний сигнал як $S(t) = S \sin \omega_0 t$ і накладемо умову $\theta = 0$, де θ — кут надходження сигналу по відношенню до центрального напрямку лінійної антенної решітки. Сигнали завад, задамо у вигляді

$$\begin{aligned} n_1(t) &= N_1 \sin \omega_0 t; & n_2(t) &= N_2 \sin \omega_0 t; \\ n_3(t) &= N_3 \sin \omega_0 t. \end{aligned} \quad (1)$$



Чотириелементна антенна решітка

Кут надходження позначимо:

для $n_1: \theta_1 = \alpha$; $n_2: \theta_2 = \beta$; $n_3: \theta_3 = \gamma$.

Елементи антенної решітки розташовані на відстані $\alpha = \frac{\lambda}{2}$ один від одного.

Відлік номера елемента будемо проводити по відношенню до центра антенної решітки і позначимо κ , що буде набувати значення 2; 1; 1'; 2'. Часова затримка по відношенню до центра лінійної решітки для кожного з елементів для $\alpha = \frac{\lambda}{2}$ можна записати у вигляді

для елементів 1, 1': $\delta = \pm \frac{1}{4f_0} \sin \theta$; 2, 2': $\delta = \pm \frac{3}{4f_0} \sin \theta$.

У ході подальших міркувань для зручності будемо оперувати відносним фазовим кутом, величину якого після нескладних перетворень у загальному виді можна визначити з виразів.

$$\psi = \pm d \left(\kappa - \frac{1}{2} \right) \sin \theta. \quad (2)$$

де ψ — характеризує значення фазового кута на кожному з випромінювачів залежно від просторового розташування сигналу по відношенню до центра антенної решітки або, що еквівалентно, по відношенню до сумарного сигналу, при рівності часових затримок у каналах.

Тепер поставимо задачу знаходження набору вагових коефіцієнтів у каналах антенної решітки, що забезпечують придушення сигналів завад, що надходять з напрямків α, β, γ і приймання корисного сигналу з нульового напрямку. У загальному, корисний сигнал може надходити з будь-якого напрямку, але цей фактор не впливає на методику знаходження вагових коефіцієнтів.

Нехай на вхід чотириелементної антенної решітки надходить один корисний сигнал і три сигнали завади, які будемо називати завадовими.

Для простоти прийнемо, що початкові фази всіх коливань нульові. Тоді, враховуючи часову затримку між елементами за виразом 2, можна записати умову для корисного сигналу:

$$\dot{S}_2 = S e^{-j^3 \psi_2}; \quad \dot{S}_1 = S e^{-j \psi_1}; \quad \dot{S}_{1'} = S e^{j \psi_1}; \quad \dot{S}_{2'} = S e^{j^3 \psi_2}. \quad (3)$$

Але оскільки надходження корисного сигналу задано з нульового напрямку $\theta = 0$, то для цього випадку фазові кути на кожному з елементів будуть однакові і дорівнюють нулю.

Аналогічно запишемо для завадових сигналів:

$$\begin{aligned} \dot{N}_{12} &= N_1 e^{-j^3 \psi_1}; & \dot{N}_{11'} &= N_1 e^{j \psi_1}; \\ \dot{N}_{11} &= N_1 e^{-j \psi_1}; & \dot{N}_{12'} &= N_1 e^{j^3 \psi_1}; \\ \dot{N}_{22} &= N_2 e^{-j^3 \psi_2}; & \dot{N}_{21'} &= N_2 e^{j \psi_2}; \\ \dot{N}_{21} &= N_2 e^{-j \psi_2}; & \dot{N}_{22'} &= N_2 e^{j^3 \psi_2}; \\ \dot{N}_{32} &= N_3 e^{-j^3 \psi_3}; & \dot{N}_{31'} &= N_3 e^{j \psi_3}; \\ \dot{N}_{31} &= N_3 e^{-j \psi_3}; & \dot{N}_{32'} &= N_3 e^{j^3 \psi_3}. \end{aligned} \quad (4)$$

У цьому випадку перший індекс вказує на номер сигналу завади, другий — на номер елемента.

Умову повної компенсації завади і виділення корисного сигналу на виході решітки можна записати у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{pmatrix} \dot{S}_2 & \dot{S}_1 & \dot{S}_{1'} & \dot{S}_{2'} \\ \dot{N}_{12} & \dot{N}_{11} & \dot{N}_{11'} & \dot{N}_{12'} \\ \dot{N}_{22} & \dot{N}_{21} & \dot{N}_{21'} & \dot{N}_{22'} \\ \dot{N}_{32} & \dot{N}_{31} & \dot{N}_{31'} & \dot{N}_{32'} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \dot{W}_1 \\ \dot{W}_2 \\ \dot{W}_3 \\ \dot{W}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{S} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

У цьому випадку для отримання єдиного розв'язку системи накладається умова незалежності вихідного сигналу від фази і амплітуди завади, якщо враховувати раніше поставлене умову

придушення завад.

Систему 5 можна звести до вигляду

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ e^{-j3\psi_1} & e^{-j\psi_1} & e^{j\psi_1} & e^{j3\psi_1} \\ e^{-j3\psi_2} & e^{-j\psi_2} & e^{j\psi_2} & e^{j3\psi_2} \\ e^{-j3\psi_3} & e^{-j\psi_3} & e^{j\psi_3} & e^{j3\psi_3} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \dot{W}_1 \\ \dot{W}_2 \\ \dot{W}_3 \\ \dot{W}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Враховуючи, що комплексні вагові коефіцієнти можна представити в тригонометричній формі, тобто у вигляді $\dot{W} = W \cos \xi + jW \sin \xi$, систему рівнянь 6 приведемо до вигляду

$$\begin{cases} W_1 \cos 3\psi_1 - W_2 \sin 3\psi_1 + W_3 \cos \psi_1 - W_4 \sin \psi_1 + W_5 \cos \psi_1 + W_6 \sin \psi_1 + W_7 \cos 3\psi_1 + W_8 \sin 3\psi_1 = 0; \\ W_1 \cos 3\psi_2 - W_2 \sin 3\psi_2 + W_3 \cos \psi_2 - W_4 \sin \psi_2 + W_5 \cos \psi_2 + W_6 \sin \psi_2 + W_7 \cos 3\psi_2 + W_8 \sin 3\psi_2 = 0; \\ W_1 \cos 3\psi_3 - W_2 \sin 3\psi_3 + W_3 \cos \psi_3 - W_4 \sin \psi_3 + W_5 \cos \psi_3 + W_6 \sin \psi_3 + W_7 \cos 3\psi_3 + W_8 \sin 3\psi_3 = 0; \\ W_1 + W_2 + W_5 + W_7 = 1; \\ -W_1 \sin 3\psi_1 - W_2 \cos 3\psi_1 - W_3 \sin \psi_1 - W_4 \cos \psi_1 + W_5 \sin \psi_1 - W_6 \cos \psi_1 + W_7 \sin 3\psi_1 + W_8 \cos 3\psi_1 = 0; \\ -W_1 \sin 3\psi_2 - W_2 \cos 3\psi_2 - W_3 \sin \psi_2 - W_4 \cos \psi_2 + W_5 \sin \psi_2 - W_6 \cos \psi_2 + W_7 \sin 3\psi_2 + W_8 \cos 3\psi_2 = 0; \\ -W_1 \sin 3\psi_3 - W_2 \cos 3\psi_3 - W_3 \sin \psi_3 - W_4 \cos \psi_3 + W_5 \sin \psi_3 - W_6 \cos \psi_3 + W_7 \sin 3\psi_3 + W_8 \cos 3\psi_3 = 0; \\ W_2 + W_4 + W_6 + W_8 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Задаючи різні значення кутів приходу завадових сигналів $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ для кожного окремого випадку можна отримати набір вагових коефіцієнтів, що забезпечують придушення завад із зазначених напрямків і приймання корисного сигналу із заданого напрямку.

Результати обчислень для чотириелементної антенної решітки зведені в таблицю.

Напрямок надходження завади	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8
$\alpha_1 = 50;$ $\alpha_2 = 100;$ $\alpha_3 = 150$	-15,95	-27,63	16,45	93,32	16,45	-93,32	-16,95	27,63
$\alpha_1 = 50;$ $\alpha_2 = 300;$ $\alpha_3 = 450$	-3,99	-0,7	4,49	9,19	4,49	-9,19	-3,99	0,70
$\alpha_1 = 50;$ $\alpha_2 = 450;$ $\alpha_3 = 150$	-7,102	-3,31	7,6	18,01	7,6	-18,01	-7,102	3,31
$\alpha_1 = 50;$ $\alpha_2 = 600;$ $\alpha_3 = -900.$	-0,7	1,5	1,2	1,5	1,2	-1,5	-0,7	-1,3

Розглянутий метод знаходження вагових коефіцієнтів є наочним і дозволяє зробити важливі висновки.

Висновки

Отримані аналітичні вирази для значень вагових коефіцієнтів, які за умови вибору центра антенної решітки за точку відліку дозволяють встановити можливість використання властивостей симетрії для побудови системи просторово-часової фільтрації. Це зменшує кількість уніфікованих

функціональних вузлів і блоків, а також наочно демонструє можливість отримання на виході системи корисного сигналу із суміші сигналу і завади незалежно від їхніх амплітудних і фазових співвідношень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ширман Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я. Д. Ширман, В. Н. Манжос. — М. : Радио и связь, 1981. — 416 с.
2. Гусевский В. И. Формирование секторного провала в диаграмме направленности фазовой антенной решетки при подавлении широкополосной помехи / В. И. Гусевский // Радиотехника — 1991. — Т. 34, № 5. — С. 23—28.
3. Перов А. И. Статистическая теория радиотехнических систем / А. И. Перов. — М. : Радиотехника, 2003. — 400 с.
4. Сосулин Ю. Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации / Ю. Г. Сосулин. — М. : Радио и связь, 1992. — 304 с.
5. Ширман Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационных помех. — М. : Советское радио, 1981.
6. Риглер Адаптивная антенная решетка для подавления помех / Риглер, Комpton P. T. // ТИИЭР. — Т. 61, № 6. — С. 75—86.
7. Системы управления фазированными антенными решетками / В. И. Самойленко. — Известия ВУЗов, Радиоэлектроника, 1979. — Т. 29, № 2. — С. 3—18.
8. Самойленко В. И. Управление фазированными антенными решетками / В. И. Самойленко, Ю. А. Шишов. — М. : Радио и связь, 1983.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення

Стаття надійшла до редакції 7.06.2013
Рекомендована до друку 12.06.2013

Кравцов Іван Юрійович — аспірант, **Кичак Василь Мартинович** — завідувач кафедри,

Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення;

Кравцов Юрій Іванович — старший викладач кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця