

УДК 621.391

К.С. КОЗЕЛКОВА

ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ

АНАЛІЗ ВИХІДНОГО ЕФЕКТУ ОПТИМАЛЬНОЇ Й СУБОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМ ОБРОБКИ СКЛАДНИХ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ СИГНАЛІВ

Для антенних решіток з обробкою сигналу, до яких відносяться антени зі складними діаграмами направленості, доцільно розглядати сигнали на різних етапах їх обробки і відповідно співвідносити з кожним із цих перерізів своє визначення просторово-часового сигналу. На виході системи обробки зі складною діаграмою направленості формується просторово-часовий сигнал складної форми. Враховуючи лінійний характер перетворення сигналів, з одного боку, і принцип взаємності в теорії антен, з іншого боку, застосований розроблений апарат синтезу й аналізу складних прийомних діаграм направленості.

Ключові слова: діаграма спрямованості, просторово-часовий сигнал.

Вступ

Проведемо спочатку аналіз вихідного ефекту оптимальної системи обробки сигналів. Для цього розглянемо окремо складову перешкоди $Y_n(\theta)$ й сигнальну $Y_s(\theta)$ складову вихідного ефекту

$$Y(\theta) = Y_s(\theta) + Y_n(\theta). \quad (1)$$

При цьому вважаємо, що єдиним суттєвим параметром прийнятого сигналу є напрямок його приходу

$$S(t; \theta_s) = S(t; \theta) \delta(\theta - \theta_s) = S_0 \exp \left\{ j \left[\omega_0 t - \phi_0 \left(t - \theta \frac{T}{\theta_M} \right) + \phi_s \right] \right\} \delta(\theta - \theta_s). \quad (2)$$

$$Y_s(\theta) = \sum_{k=-m}^m \sin c 2\pi \chi_M (\theta - k\Delta\theta) \times \int_{-T}^T S_0 \exp \left\{ -j \left[2\pi f_0 (t - Z) - \phi_0 (Z - t) + \phi_0 \right] \right\} \times \times S_0 \exp \left\{ j \left[2\pi f_0 Z - \phi_0 \left(Z - \theta_s \frac{T}{\theta_M} \right) + \phi_s \right] \right\} \times \times \sin c 2\pi \chi_M (\theta_s - k\Delta\theta) dZ. \quad (3)$$

Перетворюючи вираз (3), одержуємо

$$Y_s(\theta) = S_0^2 2T \exp \left\{ j(2\pi f_0 t + \phi_s - \phi_0) \right\} \times \times \sin c 2\pi \chi_M (\theta - \theta_s) \times \times \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \exp \left\{ j \left[\phi_0 (Z - t) - \phi_0 \left(t - \theta_s \frac{T}{\theta_M} \right) \right] \right\} dt. \quad (4)$$

Замінімо інтегральний вираз (4) функцією типу $\sin c x$. Тоді вираз для сигнальної складової вихідного ефекту оптимальної системи обробки:

$$Y_s(\theta) \cong S_0^2 2T e^{j\omega_0 t} e^{j(\phi_s - \phi_0)} \times$$

$$\times \sin c 2\pi \chi_M (\theta - \theta_s) \sin c \frac{\pi}{\Delta t} \left(t - \theta_s \frac{T}{\theta_M} \right). \quad (5)$$

Якщо вибрати Δt відповідно до

$$\Delta t = \frac{1}{2F_M} = \frac{T}{2\chi_M \theta_M} = \frac{2T}{2m+1}, \quad (6)$$

$$\sin c \frac{\pi}{\Delta t} \left(t - \theta_s \frac{T}{\theta_M} \right) = \sin c 2\pi \chi_M \left(t \frac{\theta_M}{T} - \theta_s \right), \quad (7)$$

то позначаючи $\theta = t \frac{\theta_M}{T}$, остаточно одержуємо

$$Y_s(\theta) = S_0^2 2T \exp \left\{ j \left(\omega_0 t + \phi_s - \phi_0 \right) \right\} \times \times \sin c^2 2\pi \chi_M (\theta - \theta_s). \quad (8)$$

Як і слід було сподіватися, вираз для сигнальної складової вихідного ефекту оптимальної системи обробки складних зондувальних сигналів збігається з виразом для просторово-часової функції невизначеності складних зондувальних сигналів. Як і функція невизначеності, вихідний ефект описується функцією $\sin c^2 x$ й відрізняється від вихідного ефекту оптимальної системи обробки простих звичайно використовуваних просторово-часових сигналів, описуваного функцією $\sin c x$ [1]. Це вказує на те, що використання складних просторово-часових сигналів у траєкторних радіосистемах РКК дозволяє суттєво поліпшити їхні якісні характеристики [1, 2].

Результати досліджень

Перейдемо до розгляду вихідного ефекту субоптимальної системи обробки, представленої у вигляді об'єднання просторових каналів і загального каналу часової обробки [1].

У цьому випадку формована системою діаграма направленості $F(\theta)$ на виході суматора має вигляд

$$F(\theta) = \sum_{k=-m}^m \sin c 2\pi\chi_M (\theta - k\Delta\theta). \quad (9)$$

Як і колись будемо вважати

$$|F(\theta)| = \left| \sum_{k=-m}^m \sin c 2\pi\chi_M (\theta - k\Delta\theta) \right| = F_0 = \text{const}, \quad (10)$$

що буде забезпечувати безперервне спостереження за всім сектором огляду. У цьому випадку сигнал $S(t; \theta)$, прийнятий діаграмою направленості на виході суматора, буде мати вигляд

$$S_{\Sigma}(t) = \int_{-\theta_M}^{\theta_M} S(t; \theta) F(\theta) d\theta, \quad (11)$$

що з урахуванням точкової цілі (2) приводить до наступного значення виразу (11) у записі для комплексної обгинаючої сигналу

$$S_{\Sigma}(t) = S_{\Sigma}(t; \theta_s) = S\left(t - \theta_s \frac{T}{\theta_M}\right) F(\theta_s), \quad (12)$$

де значення діаграми направленості

$$F(\theta_s) = \sum_{k=-m}^m \sin c 2\pi\chi_M (\theta_s - k\Delta\theta) \quad (13)$$

не залежить від θ_s і буде визначатися тільки спрямованими властивостями (коефіцієнтом підсилення) антени. І тоді (12) можна представити у вигляді

$$S_{\Sigma}(t; \theta_s) = F_0 S\left(t - \theta_s \frac{T}{\theta_M}\right). \quad (14)$$

Таким чином, об'єднання просторових каналів виключає із процесу обробки фільтруючі властивості антеною системи й приводить до реалізації тільки часової фільтрації в загальному часовому каналі обробки відповідно до (4), що приводить до такої сигнальної складової вихідного ефекту системи обробки:

$$Y_s(\theta) = S_0^2 2T \exp\{j(\omega_0 t + \phi_s - \phi_0)\} \sin c 2\pi\chi_M (\theta - \theta_s), \quad (15)$$

$$Y_s(t) = S_0^2 2T \exp\{j(\omega_0 t + \phi_s - \phi_0)\} \sin c 2\pi F_M (t - t_s). \quad (16)$$

Що ж стосується вихідного ефекту системи, то очевидно, що його сигнальна складова з урахуванням характеристик направленості антенних систем збігається з (15, 16).

Перейдемо до визначення складових перешкод вихідних ефектів систем обробки складних просторово-часових сигналів. Складова перешкод вихідного ефекту системи обробки визначається аналогічно сигнальної складової (1). Для складової перешкод вихідного ефекту оптимальної системи обробки складних просторово-часових сигналів маємо

$$Y_n(\theta) = \sum_{k=-m}^m \sin c 2\pi\chi_M (\theta - k\Delta\theta) \times \int_{-T}^T S_0 \exp\{j[2\pi f_0 t - \phi_0(Z-t) + \phi_0]\} dt \int_{-\theta_M}^{\theta_M} n(t; \hat{\theta}) \sin c 2\pi\chi_M (\hat{\theta} - k\Delta\theta) d\hat{\theta}. \quad (17)$$

$$+ \phi_0\} dt \int_{-\theta_M}^{\theta_M} n(t; \hat{\theta}) \sin c 2\pi\chi_M (\hat{\theta} - k\Delta\theta) d\hat{\theta}.$$

Після ряду перетворень одержуємо

$$\langle Y_n(\theta_1) Y_n^*(\theta_2) \rangle = S_0^2 2T \frac{N_0}{2\chi_M} \times \sin c 2\pi\chi_M (\theta_1 - \theta_2) \times \times \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \exp\{j[\phi_0(Z_2 - t) - \phi_0(Z_1 - t)]\} dt. \quad (18)$$

Здійснюючи з (18) перетворення аналогічні тем, які здійснювали із сигнальної складової (4), приходимо до такого значення кореляційної функції складової перешкод оптимальної системи обробки

$$\langle Y_n(\theta_1) Y_n^*(\theta_2) \rangle = S_0^2 2T \frac{N_0}{2\chi_M} \sin c^2 2\pi\chi_M (\theta_1 - \theta_2), \quad (19)$$

$$\langle Y_n(t_1) Y_n^*(t_2) \rangle = S_0^2 2T \frac{N_0}{2\chi_M} \sin c^2 2\pi F_M (t_1 - t_2). \quad (20)$$

Визначимо відношення потужності сигналу до потужності перешкод $\mu_{МК}$ на виході оптимальної багатоканальної системи обробки. З урахуванням (8) і (19) одержимо

$$\mu_{МК} = (P_s/P_I)_{\hat{A}\hat{U}\hat{O}} = S_0^2 2T / (N_0 / (2\chi_M)). \quad (21)$$

Перемножуючи чисельник і знаменник (21) на $2\theta_M$, одержуємо

$$\mu_{МК} = \frac{S_0^2 2T}{N_0 2\theta_M} 2\chi_M 2\theta_M = (P_s/P_I)_{\hat{A}\hat{O}} B_{\theta}, \quad (22)$$

тобто відношення сигнал-перешкода на виході системи обробки збільшилося в базу раз B_{θ} у порівнянні із входом системи.

При визначенні складової перешкод вихідного ефекту системи обробки з об'єднанням просторових каналів і загальним часовим каналом, опускаючи проміжні викладення, відзначимо лише той факт, що зовнішні перешкоди, що надходять на вхід системи обробки (апертура приймальні антени), будуть діяти не в елементі, що дозволяється, $1/2\chi_M$ простору, як було в попередньому випадку, а у всьому діапазоні реальних кутів, обумовлених шириною сектору $2\theta_M$ огляду. Це приводить до такого значення відношення сигнал/перешкода на виході системи обробки

$$\mu_{ОК} = \frac{S_0^2 2T}{N_0 2\theta_M} = \left(\frac{P_s}{P_I} \right)_{\hat{A}\hat{O}} = \frac{\mu_{МК}}{B_{\theta}}. \quad (23)$$

Аналогічні співвідношення для складової перешкод й відношення сигнал-перешкода з урахуванням характеристик направленості прийомної антени справедливі й для системи зі звичайною всенаправленою антеною.

Як впливає із порівняння (22) і (23) об'єднання результатів просторової обробки несприятливо позначається на енергетичних характеристиках сис-

теми в порівнянні з оптимальною системою обробки (прогреш у $2m + 1$ раз). І навіть при наявності в зоні огляду точкового джерела перешкод, що не попадає в елемент розрізнення корисного сигналу, енергетичні характеристики одноканальної (часової) системи будуть значно уступати оптимальним системам просторово-часової обробки.

При роздільному урахуванні зовнішніх і внутрішніх перешкод усі наведені вище міркування відносяться до впливу тільки зовнішнього фону перешкод. І тому в умовах, коли зовнішній фон незначний, а внутрішні перешкоди досить суттєві, що характерно для випадку використання антенних решіток [3], енергетичні характеристики субоптимальних одноканальних систем і багатоканальних систем виявляються практично рівноцінними.

Висновки

Таким чином, вихідний ефект системи оптимальної обробки багатоканальної як по просторовій, так і по часовій координатах представляється як

$$Y(\theta) = \left| S_0^2 2T \exp \left\{ j(\omega_0 t + \phi_s - \phi_0) \right\} \times \right. \\ \left. \times \sin c 2\pi \chi_M (\theta - \theta_s) + Y_n(\theta) \right|, \quad (24)$$

$$Y(t) = \left| S_0^2 2T \exp \left\{ j(\omega_0 t + \phi_s - \phi_0) \right\} \times \right. \\ \left. \times \sin c 2\pi F_M (t - t_s) + Y_n(t) \right|. \quad (25)$$

Вихідний ефект субоптимальної системи обробки – багатоканальної по просторовій координаті й одноканальної по часовій представляється як

$$Y(\theta) = \left| S_0^2 2T \exp \left\{ j(\omega_0 t + \phi_s - \phi_0) \right\} \times \right. \\ \left. \times \sin c 2\pi \chi_M (\theta - \theta_s) + Y_n(\theta) \right|, \quad (26)$$

$$Y(t) = \left| S_0^2 2T \exp \left\{ j(\omega_0 t + \phi_s - \phi_0) \right\} \times \right. \\ \left. \times \sin c 2\pi F_M (t - t_s) + Y_n(t) \right|. \quad (27)$$

Вихідний ефект субоптимальної системи обробки – одноканальної як по просторовій, так і по часових координатах, відповідає (26, 27) з урахуванням тих енергетичних обмежень, які викликані використанням ненаправленої антени.

Література

1. Волосюк, В.К. Исследование возможностей некорректируемых экологических систем КА [Текст] / В.К. Волосюк, Е.С. Козелкова // НТК «Наукові проблеми розробки, модернізації та застосування ІВС космічного і наземного базування». – Житомир: НАОУ. – 2006. – С. 59.
2. Сазонов, Д.М. Антенны и устройства СВЧ [Текст]: учеб. для радиотехнич. спец. вузов. / Д.М. Сазонов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
3. Вендик, О.Г. Антенны с немеханическим движением луча [Текст] / О.Г. Вендик – М.: Советское радио, 1965. – 360 с.

Надійшла до редакції 4.06.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ ИСХОДНОГО ЭФФЕКТА ОПТИМАЛЬНОЙ И СУБОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

Е.С. Козелкова

Для антенных решеток с обработкой сигнала, к которым относятся антенны со сложными диаграммами направленности, целесообразно рассматривать сигналы на различных этапах их обработки и соответственно соотносить с каждым из этих сечений свое определение пространственно-временного сигнала. На выходе системы обработки со сложной диаграммой направленности будет формироваться пространственно-временной сигнал сложной формы. Учитывая линейный характер преобразования сигналов, с одной стороны, и принцип взаимности в теории антенн, с другой стороны, применен разработанный аппарат синтеза и анализа сложных приемных диаграмм направленности.

Ключевые слова: диаграмма направленности, пространственно-временной сигнал.

ANALYSIS OF INITIAL EFFECT OF OPTIMUM AND SUBOPTIMUM CHARTS OF DIFFICULT SPATIO-TEMPORAL SIGNALS TREATMENT

K.S. Kozelkova

For arrays with the signal processing, to which aeriels behave with the difficult diagrams of orientation, it is expedient to examine signals on the different stages of their treatment and accordingly correlate the determination of spatio-temporal signal with each of these sections. In accordance with it on the output of the system of treatment with the difficult diagram of orientation the spatio-temporal signal of difficult form will be formed. In accordance with it on the output of the system of treatment with the difficult diagram of orientation will be formed.

Key words: diagram of orientation, spatio-temporal signal.

Козелкова Катерина Сергіївна – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління», Київ.