

УДК 621.391.81

О. В. В'ЮННИК,

Державний університет телекомунікацій, Київ

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТА СУБОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМ ОБРОБКИ СКЛАДНИХ ЗОНДУВАЛЬНИХ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ СИГНАЛІВ

Розглянуто питання синтезу структур оптимальної та субоптимальних схем обробки складних зондувальних просторово-часових сигналів у траєкторних радіосистемах ракетно-космічного комплексу.

Ключові слова: просторово-часові перетворення сигналів; ракетно-космічний комплекс; складні діаграми спрямованості.

Вступ

У процесі просторово-часових перетворень сигналів траєкторними системами ракетно-космічних комплексів зі складними діаграмами спрямованості відбувається перетворення просторового розподілу сигналів, що приходять із різних напрямів сектора огляду $-\theta_M; \theta_M$, на часовий (частотний) їх розподіл на виході системи обробки.

Основна частина

Завдання оптимальної обробки складних просторово-часових сигналів сформулюємо в такий спосіб [1; 2].

На інтервалах часу $t \in [-T; T]$ та простору $\theta \in [-\theta_M; \theta_M]$ на розкрит приймальної антени системи $\chi \in [-\chi_M; \chi_M]$ надходить поле $y(t; \chi)$ зі щільністю розподілу за кутовою координатою

$$y(t; \theta) = \sum_{i=1}^n s_i(t; \theta) + n(t; \theta). \quad (1)$$

Це поле являє собою адитивну суміш складних просторово-часових сигналів, відбитих або перевертнутих об'єктами, що перебувають у секторі огляду $[-\theta_M; \theta_M]$, та нормальними перешкодами, із кореляційною функцією

$$\langle n(t_1; \theta_1) n^*(t_2; \theta_2) \rangle = N_0 \delta(t_1 - t_2) \delta(\theta_1 - \theta_2). \quad (2)$$

Шуми системи обробки, зумовлені адитивними шумами антени, втратами в антенно-фідерному тракту та іншими адитивними шумами апаратури, можуть бути перераховані до входу системи й ураховані функцією $n(t; \theta)$.

Корисні сигнали $s_i(t; \theta)$ відрізняються один від одного значенням параметрів $s_i(t; \theta) = s(t; \theta; \bar{\lambda}_i)$. Кількість об'єктів у зоні роботи системи в загальному випадку може бути невідома.

Потрібно без істотних енергетичних втрат здійснити оптимальне виявлення всіх сигналів і виміряти їхні інформаційні параметри.

Щоб дістати доступні для огляду результати, будемо вважати, що в кожному елементі простору інформаційних параметрів сигналу може перебувати лише один сигнал, тобто вважатимемо, що всі сигнали в (1) взаємно ортогональні. Припустимо також, що єдиний істотний параметр сигналів — це напрям їх надходження. Вплив неістотних параметрів, роль яких досліджено в монографії [1], урахувати не будемо. Тоді згідно зі згаданою умовою взаємної ортогональності всіх прийнятих сигналів (незалежно від кількості об'єктів у зоні огляду) оптимальна обробка суміші (1) зводиться до формування вихідного ефекту для поодинокого сигналу — модульного значення комплексного просторово-часового кореляційного інтеграла.

Використовуючи загальну формулу для складного просторово-часового сигналу, де роль комплексної обвідної $\hat{S}(t; \theta)$ виконує складна діаграма спрямованості $F(\theta; t)$, приходимо до виразу для оптимального вихідного ефекту системи обробки складних просторово-часових сигналів:

$$Y(\theta) = \left| \int_{-T}^T \int_{-\chi_M}^{\chi_M} y(t; \chi) S_0 \exp \left\{ -j \left[2\pi(f_0 t - \theta \chi) + \varphi_0 + \varphi_0 \left(\theta - t \frac{\theta_M}{T} \right) \right] \right\} dt d\chi \right| = \left| \int_{-T}^T S_0 \exp \left\{ -j \left[2\pi f_0 t + \varphi_0 \left(\theta - t \frac{\theta_M}{T} \right) + \varphi_0 \right] \right\} dt \int_{-\chi_M}^{\chi_M} y(t; \chi) \exp \{ j 2\pi \theta \chi \} d\chi \right|, \quad (3)$$

де S_0 і φ_0 — довільні сталі, що визначають коефіцієнт підсилення та початкову фазу системи обробки.

Тут привертає до себе увагу факт поділу обробки за функціональним призначенням — на просторову і часову.

Нехай $F_S(\theta; t)$ — алгоритм просторової обробки, який згідно з (3) зводиться до

$$F_S(\theta; t) = \int_{-\chi_M}^{\chi_M} y(t; \chi) \exp\{j2\pi\theta\chi\} d\chi, \quad (4)$$

або

$$F_S(\theta; t) = \sum_{k=-m}^m F_S(k\Delta\theta; t) \sin c 2\pi\chi_M(\theta - k\Delta\theta). \quad (5)$$

При цьому вираз для оптимального вихідного ефекту набирає вигляду

$$Y(\theta) = \left| \sum_{k=-m}^m \sin c 2\pi\chi_M(\theta - k\Delta\theta) \int_{-T}^T F_S(k\Delta\theta; t) S_0 \exp\left\{-j\left[2\pi f_0 t + \varphi_0\left(\theta - t \frac{\theta_M}{T}\right) + \varphi_0\right]\right\} dt \right|, \quad (6)$$

де c — деяка константа;

$$F_S(k\Delta\theta; t) = \int_{-\chi_M}^{\chi_M} y(t; \chi) \exp\{j2\pi k\Delta\theta\chi\} d\chi = \int_{-\theta_M}^{\theta_M} y(t; \hat{\theta}) \sin c 2\pi\chi_M\{\hat{\theta} - k\Delta\theta\} d\hat{\theta}. \quad (7)$$

Алгоритм (6) можна подати ще й так:

$$Y(\theta) = \left\{ \left[\sum_{k=-m}^m \sin c 2\pi\chi_M(\theta - k\Delta\theta) \int_{-T}^T \operatorname{Re} F_S(k\Delta\theta; t) S_0 \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0\left(\theta - t \frac{\theta_M}{T}\right) + \varphi_0\right) dt \right]^2 + \left[\sum_{k=-m}^m \sin c 2\pi\chi_M(\theta - k\Delta\theta) \int_{-T}^T \operatorname{Re} F_S(k\Delta\theta; t) S_0 \sin\left(\omega_0 t + \varphi_0\left(\theta - t \frac{\theta_M}{T}\right) + \varphi_0\right) dt \right]^2 \right\}^{1/2}. \quad (8)$$

У загальному випадку дістаємо відомі алгоритми обробки просторово-часових сигналів із повністю ідентичною структурою багатоканальної просторової обробки та з деякими незначними особливостями часової обробки, зумовленими формою оброблюваного сигналу [3; 4]. Структурні схеми систем, що моделюють алгоритми багатоканальної фільтраційної та кореляційної обробки, наведено відповідно на рис. 1 і 2, де діаграмоутворювальні схеми (ДУС), які реалізують алгоритм просторової обробки сигналів у (5), формують діаграму спрямованості

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

З виходів кожного з каналів коливання $F(k\Delta\theta; t)$ надходять у $(2m+1)$ паралельних каналів часової обробки. Інтерполяційні пристрої здійснюють формування вихідного ефекту $Y(\theta)$ для всієї сукупності значень $\theta \in [-\theta_m; \theta_M]$.

За наведених умов зазначені алгоритми й схеми придатні для обробки широкого класу просторово-часових сигналів. Проте вони не враховують специфіки зондувальних сигналів, які формуються таким чином, що для всіх

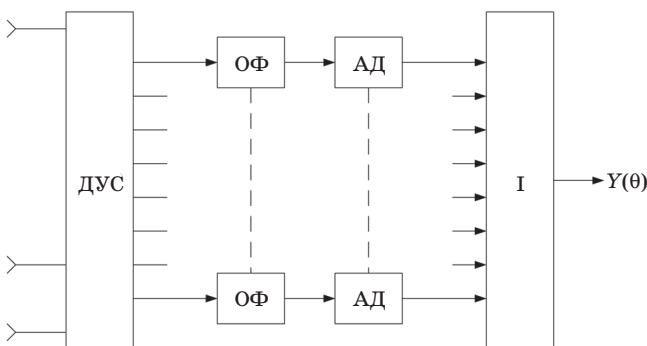


Рис. 1. Оптимальна схема фільтраційної обробки складних просторово-часових сигналів

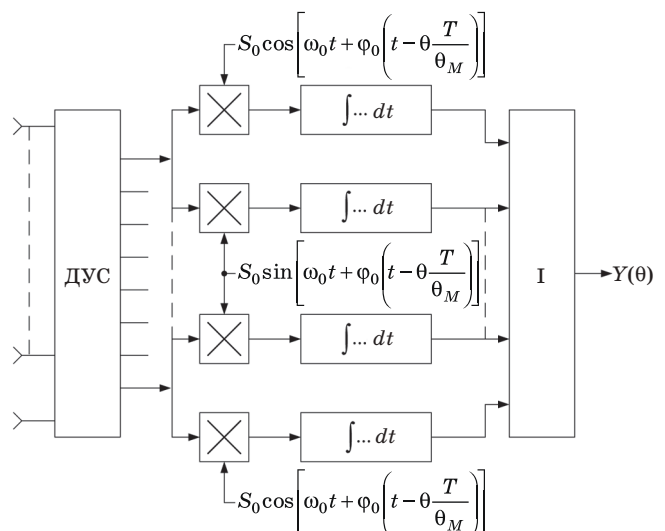


Рис. 2. Оптимальна схема кореляційної обробки складних просторово-часових сигналів

напрямів (приймання-випромінювання) вони різняться лише часовим зсувом, а при зсуві, котрий перевищує інтервал кореляції за одним із параметрів, — взаємно ортогональні. У цьому разі прийняті сигнали, що надходять із різних напрямів сектора огляду, характеризуватимуться різним часовим запізненням. Із цього погляду приймальна система може мати всеспрямовану антенну систему, а система обробки може містити один спільний для всіх сигналів оптимальний фільтр. І тоді згідно із загальною структурною схемою системи оптимальної обробки сигналів (див. рис. 1 і 2) можна об'єднати всі результати їх просторової обробки, установивши на виході ДУС суматор, на вхід якого подаються сигнали із каналів антенної решітки, що надходять із різних напрямів і, відповідно, зсунені один відносно одного. Ці сигнали на виході оптимального фільтра (ОФ) перетворюються в короткі (стислі) імпульси. За часовим положенням кожного з них однозначно визначається напрям, за яким вони надходять:

$$\theta_i = t_i \frac{\theta_M}{T}.$$

Структурні схеми систем обробки з об'єднанням просторових каналів і одним спільним каналом часової обробки для випадків фільтраційної та кореляційної обробки зображено відповідно на рис. 3 і 4 [1]. У цьому разі маємо значно простіші в конструктивному плані схеми, ніж ті, що наведені на рис. 1 і 2. На відміну від схем оптимальної обробки, котрі включають у себе багато каналів ($2m+1$ канал) часової обробки, до яких висувуються доволі жорсткі вимоги щодо ідентичності й стабільності їхніх характеристик, пропонувані схеми обробки складних просторово-часових сигналів містять лише один спільний для всіх сигналів канал обробки.

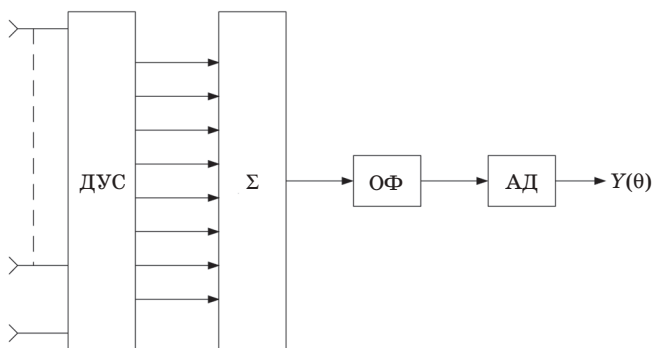


Рис. 3. Багатоканальна схема зі спільним часовим каналом фільтраційної обробки складних просторово-часових сигналів

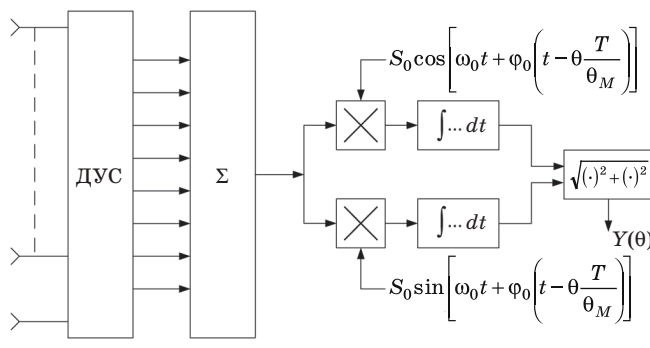


Рис. 4. Багатоканальна схема зі спільним часовим каналом кореляційної обробки складних просторово-часових сигналів

У радіолініях із достатньо високим енергетичним потенціалом можуть знайти застосування антенні системи, значно простіші порівняно з розглянутими антенними решітками, із менш вираженими спрямованими властивостями, які формують широкі в заданому секторі огляду діаграми спрямованості, що мають нижчий коефіцієнт підсилення. Цим самим забезпечується подальше спрощення системи обробки складних просторово-часових сигналів. Системи обробки, що використовують такі антенні системи, наведено на рис. 5 і 6. Варто наголосити, що ці системи простіші не тільки порівняно з попередніми системами, поданими на рис. 3 і 4, а й тим більш за конструктивною простотою перевершують оптимальні системи обробки, зображені на рис. 1 і 2.

Утім, таке спрощення систем обробки, можливе завдяки своєрідній структурі зондувальних каналів, досягається значною ціною. У результаті об'єднання просторових каналів в один значно погіршується порівняно з оптимальними схемами відношення сигнал/шум на виході системи обробки.

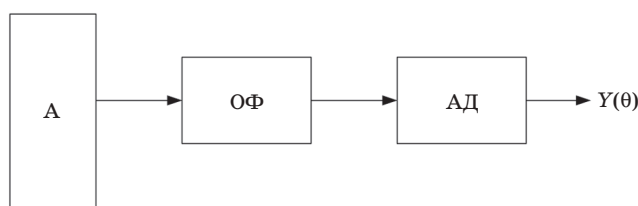


Рис. 5. Одноканальна за просторовою і часовою координатами схема фільтраційної обробки складних сигналів

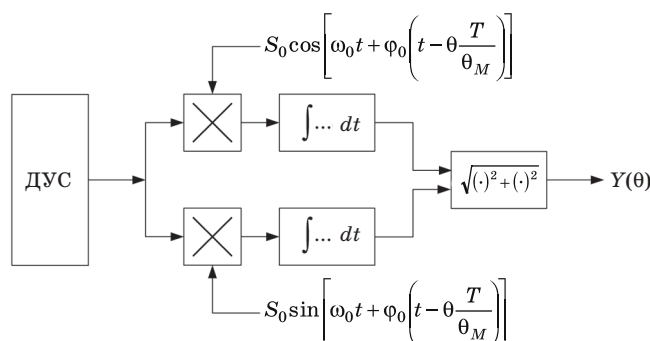


Рис. 6. Одноканальна за просторовою і часовою координатами схема кореляційної обробки складних сигналів

Висновки

Вихідний ефект оптимальної системи обробки складних просторово-часових сигналів, на відміну від описуваного функцією типу $\text{sinc}x$ вихідного ефекту оптимальної системи обробки використовуваних зазвичай простих просторово-часових сигналів, подається функцією типу sinc^2x . Це дозволяє значно поліпшити такі показники вимірювальних радіосистем, що функціонують у широкому секторі огляду, як роздільна здатність і точність вимірювання параметрів руху.

У разі використання субоптимальних схем обробки складних просторово-часових сигналів якісні значення показників не підвищуються, залишаючись на рівні значень показників систем оптимальної обробки простих просторово-часових сигналів. Проте слід зазначити, що й у цьому разі траєкторні радіосистеми зі складними просторово-часовими сигналами функціонують у широкому секторі огляду й мають підвищену пропускну здатність порівняно із зазвичай використовуваними системами.

Література

1. *Космические радиотехнические комплексы* / [В. В. Гладченко, А. А. Корниенко, И. Ю. Лютынский и др.]; под ред. Г. В. Стогова.— М.: МО СССР, 1986.— 626 с.
2. *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.
3. *Розробка матеріалів аванпроекту на ЗККС в частині створення антенно-фідерного пристрою та участь в проведенні випробувань макету ЗККС в польових умовах реального полігону при дії завод: звіт про НДР (заключний): 14-27, 54-66* / ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління»; керів. Козелков С. В.; викон. Козелкова К. С.— К.: ЦНДІ НіУ, 2008.— 115 с.
4. *Козелкова, Е. С. Развитие перспективных космических систем* / Е. С. Козелкова // *Матеріали І наук.-техн. конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (13-14 грудня 2010 р.)*.— Харків-Київ: ДП ХНДІ ТМ, К.: ДП ЦНДІ НіУ, 2010.— С. 26–27.

А. В. Вьюнник

МЕТОДИКА СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОЙ И СУБОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ЗОНДИРУЮЩИХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрены вопросы синтеза структур оптимальной и субоптимальной схем обработки сложных зондирующих пространственно-временных сигналов в траекторных радиосистемах ракетно-космического комплекса.

Ключевые слова: пространственно-временные преобразования сигналов; ракетно-космический комплекс; сложные диаграммы направленности.

O. V. Viunnik

METHODS OF AN OPTIMAL SYNTHESIS OF STRUCTURES AND SUBOPTIMAL CIRCUIT OF PROCESSING OF PROBING COMPLEX SPACE-TIME SIGNALS

An optimal synthesis of structures and suboptimal circuit of processing of probing complex space-time radio signals in the trajectory of the space-rocket complex.

Keywords: spatial-temporal signal transformation; space-rocket complex; complex pattern.

