

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 перевернутих 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  $\varphi_0$  — 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

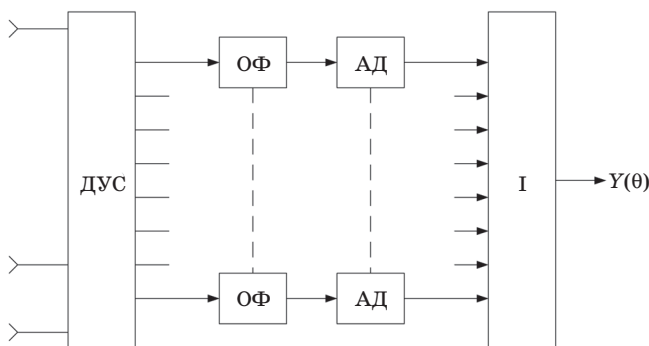


Рис. 1. Оптимальна схема фільтраційної обробки складних просторово-часових сигналів

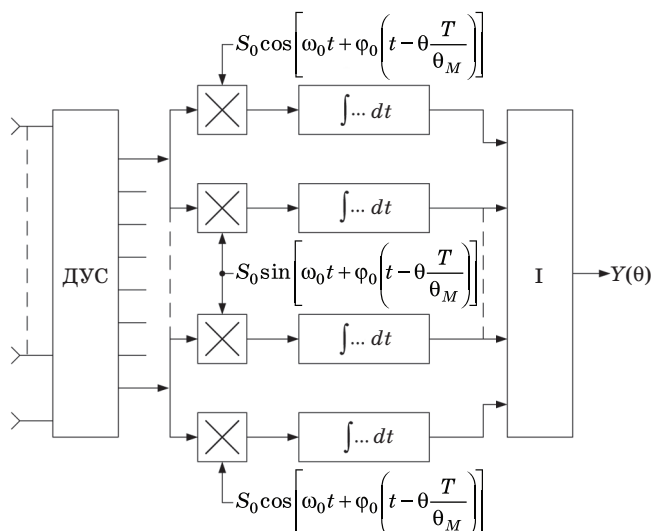


Рис. 2. Оптимальна схема кореляційної обробки складних просторово-часових сигналів

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  $i$ , 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 висуваються 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.

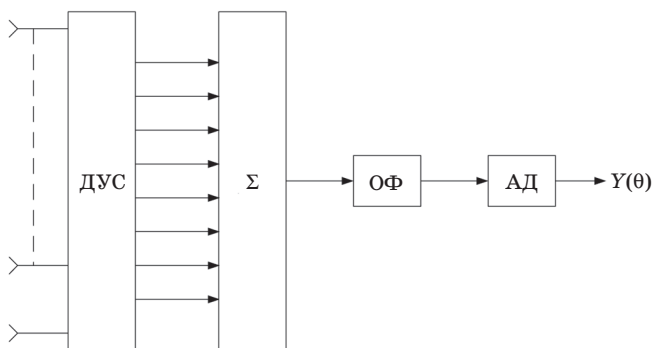


Рис. 3. Багатоканальна схема зі спільним часовим каналом фільтраційної обробки складних просторово-часових сигналів

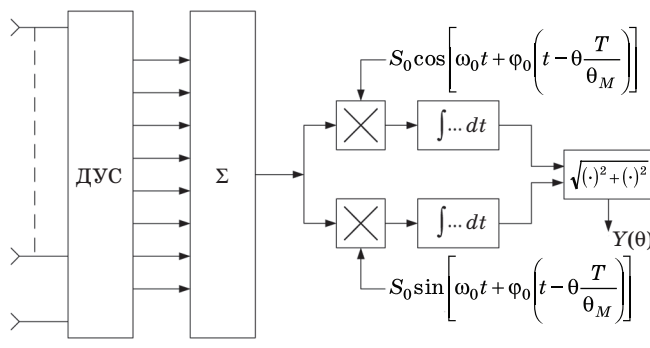


Рис. 4. Багатоканальна схема зі спільним часовим каналом кореляційної обробки складних просторово-часових сигналів

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.

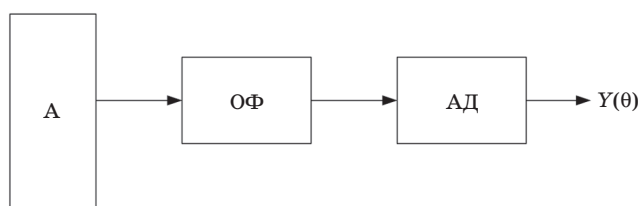


Рис. 5. Одноканальна за просторовою і часовою координатами схема фільтраційної обробки складних сигналів

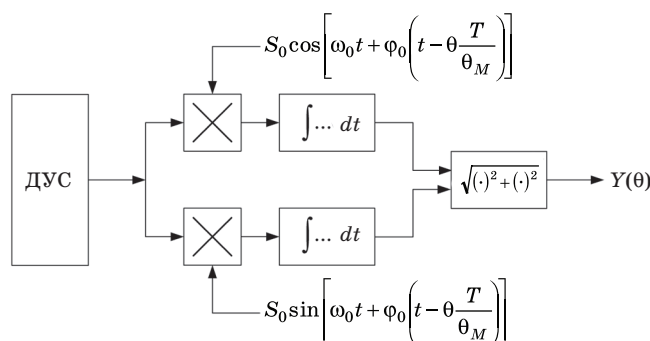


Рис. 6. Одноканальна за просторовою і часовою координатами схема кореляційної обробки складних сигналів

### 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  $\text{sinc}^2x$ . 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.

